Zamin Azmoon Group

سنگ‌شناسی دگرگونی

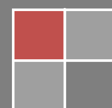
آمادگی آزمون کارشناس‌ارشد و دکتری زمین‌شناسی

دکتر رامین صمدی

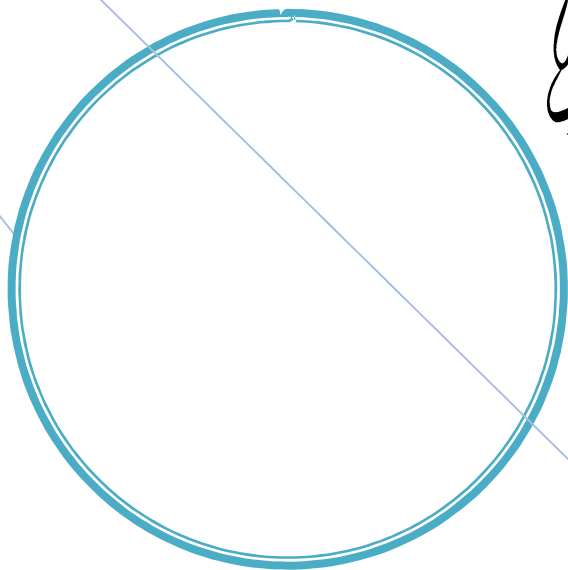
گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون

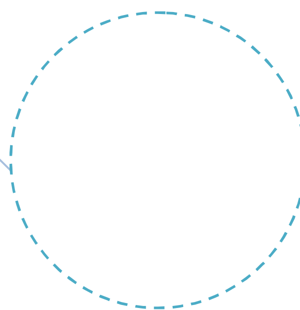
Dr. Ramin Samadi

www.zaminazmoon.com



بسم الله الرحمن الرحیم







ZaminAzmoon Group

جزوات وقف عام گروه زمین آزمون

غیر قابل فروش



سنگ‌شناسی دگرگونی

جزوات آمادگی آزمون کارشناسی‌ارشد و دکتری زمین‌شناسی

تألیف: دکتر رامین صمدی

بسمه تعالی

پیامبر خدا (صلی الله علیه و آله و سلم) فرمودند:

هرگاه مؤمن یک برگه که روی آن علمی نوشته شده باشد از خود بر جای گذارد، روز قیامت آن برگه پرده میان او و آتش می شود و خداوند تبارک و تعالی به ازای هر حرفی که روی آن نوشته شده، شهری هفت برابر پهناورتر از دنیا به او می دهد.

سلام علیکم؛

ایزد دانا را سپاس می گوییم که ما را یاری بخشید تا بتوانیم در زمینه تحقق آرمان های علمی و میهنی خویش، گامی دیگر برداریم. «زمین آزمون» با هدف ایجاد بانک اطلاعاتی جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی و نیز کمک به دانشجویان و محققین این رشته در سال ۱۳۸۶ آغاز به فعالیت نمود. در این راه استادان و دانشجویان و پژوهشگران محترمی با همفکری خود به ما یاری رسانده اند که اگر این همفکری و کمک ها نبود شاید این مهم ناتمام می ماند.

اکنون به پاس ۱۰ سال تلاش صادقانه گروه آموزشی و پژوهشی زمین آزمون، هزاران امید و تلاش به ثمر نشسته است و فرهیختگان بسیاری همراه ما با موفقیت در دوره های کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی تحصیل نموده اند. برای پاسداشت علم و ترویج علم مقدس زمین شناسی، گروه زمین آزمون کلیه جزوات آمادگی آزمون کارشناسی ارشد و دکتری زمین شناسی خود را به صورت وقف عام به همه فرهیختگان جامعه علمی زمین شناسی ایران تقدیم می نماید. شایسته است از زحمات آقای مهندس مجتبی رجبی، خانم دکتر نرگس شیردشت زاده، خانم مهندس بیترا محمودزاده، آقای مهندس رسول صادقی و دیگر بزرگواران تقدیر گردد. بی گمان این مجموعه از کاستی ها و نواقص احتمالی مبری نیست ولی می تواند مسیری روشن را پیرامون داوطلبان محترم و پژوهشگران گرامی بگشاید. پیروزی و موفقیت شما را در تمامی آزمون های زندگی آرزومندیم.

مدیر گروه مؤلفین زمین آزمون

دکتر رامین صمدی

سنگ‌شناسی دگرگونی

اهداف سنگ‌شناسی دگرگونی

۱- شناسایی شرایط تشکیل کانی و سنگ‌ها:

مطالعه‌های پاراژنزهای دگرگونی منجر به شناسایی دگرگونی، درجات دگرگونی و نهایتاً شرایط تشکیل کانی‌ها و سنگ‌ها خواهد شد. واضح است که هر پاراژنز در محدوده به خصوصی از شرایط فیزیکی محیط پایدار خواهد بود، با مشاهده هر مجموعه در یک سنگ دگرگونی، می‌توان شرایط تشکیل آن نمونه را تشخیص داد.

به‌عنوان مثال فراوانی ژادئیت در مقایسه با آلبیت در یک سنگ، معرف فشار بالاتر در محل تشکیل سنگ دگرگونی است، درحالی‌که فراوانی آلبیت نسبت به ژادئیت نشان‌دهنده بالا بودن حرارت و پایین بودن فشار خواهد بود.

۲- شناسایی ترکیب فاز سیال:

با توجه به ترکیب کانی‌شناسی یک سنگ دگرگونی، می‌توان اطلاعاتی را در خصوص ترکیب فاز سیال در حین دگرگونی به دست آورد؛ به‌عنوان مثال کربنات‌هایی هم چون کلسیت و دولومیت در شرایط حضور PCO_2 تشکیل می‌شوند درحالی‌که حضور کانی تورمالین معرف وجود PB_2 یا PF_2 در حین دگرگونی خواهد بود.

۳- شناسایی سنگ منشأ:

از اهداف مهم پترولوژی دگرگونی، شناسایی سنگ منشأ یا سنگ مادر خواهد بود. شناسایی سنگ منشأ به‌طورکلی توسط شناسایی کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های دگرگونی صورت می‌پذیرد؛ بدین معنی که هر نوع سنگ دگرگونی، حاوی کانی‌های خاصی خواهد بود اما ازآنجایی‌که ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های اولیه متنوع است، درنتیجه ترکیب کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های دگرگونی دارای تنوع فراوان و پیچیدگی‌های زیادی است که از این نظر مطالعه این نوع سنگ‌ها را برای پترولوژیست‌های علاقه‌مند، بیش از پیش جالب توجه می‌نماید.

٤- تعیین شرایط زمین‌شناسی گذشته:

ارتباط بین بوم‌های دگرگونی و مناطق تکتونیکی به‌خصوص پس از ارائه الگوی تکتونیک صفحه‌ای Plate tectonic پیشرفت قابل ملاحظه‌ای داشته است به‌عنوان مثال سنگ‌های رخساره گلوکوفان شیست در مرزهای همگرای صفحات دیده شده‌اند که از این نظر شناسایی آن‌ها در یک محل به‌خصوص می‌تواند اطلاعاتی را در این مورد نتیجه بخشد.

٥- اهمیت اقتصادی و کاربردی سنگ‌های دگرگونی:

سنگ‌های دگرگونی حاوی مواد باارزشی هستند که مطالعه آن‌ها را پیش از پیش سودمند کرده به‌عنوان مثال:

الف) سنگ‌های دگرگونی از نوع اسکارن حاوی آهن، سرب، روی، طلا، نقره و تنگستن

ب) مرمر در صنایع سنگ نما و مجسمه‌سازی

ج) زئولیت‌های دگرگونی در تهیه صافی‌های صنعتی

د) تالک برای ساخت لوازم آرایشی، بهداشتی و تولید رنگ‌های مرغوب

ه) گارنت، الیوین، کرندوم در جواهرسازی

و) گرافیت صنایع الکتریکی و الکترونیکی
ز) مواد دیرگداز هم چون منیزیت، پریکلاز، سیلیکات‌های آلومین
ج) انواع آزبست در نسوزها

دگرگونی سنگ‌ها را باید به‌عنوان فرآیندی در نظر گرفت که در سنگ‌های جامد یک منطقه و تقریباً در دمایی کمتر از دمای گداختگی انجام می‌شود. از عوامل مهم کنترل‌کننده این فرآیند می‌توان؛ دما، فشار همه‌جانبه، فعالیت شیمیایی آب، تغییر شکل و زمان را نام برد.

فرآیندهایی که در حرارت بیشتر از $150^{0}C$ و بیش از kbar ۱ فشار رخ می‌دهد، جزو دگرگونی است.

توجه:

۱- **پارا** (Para): اگر سنگ دگرگونی از یک سنگ رسوبی به وجود آید.
۲- **اورتو** (Ortho): اگر سنگ دگرگونی از یک سنگ آذرین به وجود آید.
۳- **متا** (Meta): اگر سنگ آذرین و رسوبی کاملاً دگرگون نشوند.
۴- **فولیاسیون:** قرار گرفتن کانی‌ها به‌موازات هم مانند حالت نواری در گنایس ها.
۵- **شیستوزیته:** قرار گرفتن کانی‌های گروه میکا (صفحه‌ای) به‌موازات هم را گویند.
۶- **لینه‌آسیون:** قرار گرفتن عناصر خطی (Hlb) به موازت یکدیگر را گویند.

عوامل مؤثر در ایجاد دگرگونی:

۱- **حرارت** (T):

الف) تغییر سیستم دگرگونی: مشاهده در کانی‌های پلی‌مورف مانند گروه کوارتز
ب) از دست دادن آب: حذف آب تبلور مانند تبدیل $Hbl \leftarrow Px$
ج) تغییر در کانی‌های ایزومورف: به‌خصوص در پلاژیوکلازها
د) تغییر در نسبت‌های ایزوتوپی: مثلاً با افزایش حرارت نسبت $O18/O16$ کاهش می‌یابد.
ح) تغییر شیمیایی در برخی کانی‌ها: مثلاً در بیوتیت جانشینی Mg با Fe.

۲- **فشار** (P):

الف) فشار لیتواستاتیک یا بار همه‌جانبه: کاهش حجم و افزایش چگالی، به‌طور مثال: گابرو و بازالت ← اکلوژیت (گارنت پیروپ و پیروکسن اومفاسیت).
ب) فشار یک‌جانبه یا استرس: سبب تغییر ساخت و بافت‌ها می‌شود، مانند تورق در اسلیت، فیلیت، شیست‌ها و گنیس‌ها.
ج) فشار سیال یا فلوید: سیالاتی مانند O_2 و CO_2 و بخار آب، به‌طور مثال طی تشکیل اسکارن‌ها بر اثر دگرگونی مجاورتی: (CO_2 + ولاستونیت → کوارتز + کلسیت).

یا مثلاً در فشار اکسیژن کم یون فرو (Fe^{2+}) و در فشار زیاد یون فریک (Fe^{3+}) تشکیل می‌گردد.

۳- نقش آب (انواع آب):

الف) آب فسیلی: محبوس در سنگ‌های متخلخل قدیمی مانند شیل.

ب) آب جوی: مانند نزولات جوی.

ج) آب‌های جوان: بخار آب ماگما که سرد شده و به آن ژونیل (Juvenile) نیز می‌گویند.

د) آب‌های کانی‌ساز: بر اثر تبدیل کانی‌ها به هم ایجاد می‌شوند ($Amph \rightarrow Px$)

نکات:

پارامورفیسم: با تغییر درجه حرارت و فشار یک کانی بدون تغییر شکل خارجی به کانی دیگری مبدل می‌شود.

به‌طور مثال تبدیل کوارتز $\alpha \rightarrow \beta$ در محدوده حرارت ۵۷۳°C.

متداول‌ترین پلی مورف‌های سیلیکات آلومینیم (Al_2SiO_5) شامل:

آندالوزیت ← $T\uparrow$ کیانیت ← $P\uparrow$ سیلیمانیت ← P و $T\uparrow$

شرایط متا استیبل: شرایطی که در آن یک کانی در خارج قلمرو پایداری خود تشکیل می‌شود مانند تشکیل آراگونیت در چشمه‌های آهک‌ساز که پس از مدتی با کم شدن Mg, Sr کلسیت جایگزین آراگونیت می‌گردد.

کانی‌های لاوسونیت (۱۵۰ c)، لامونتیت (۱۷۵ c) و گلاکوفان (۲۰۰ c) نشانه آغاز دگرگونی می‌باشند.

- کانی‌های پلی مورف (مثل کوارتز) دارای سیستم مختلف‌اند.
- کانی‌های ایزومورف (مثل پلاژیوکلاز) دارای ترکیب شیمیایی مختلف‌اند.

✓ افزایش حرارت (T): تشکیل کانی با حجم بزرگ‌تر و وزن حجمی کمتر

✓ افزایش فشار (P): تشکیل کانی با حجم کوچک‌تر و وزن حجمی بیشتر

توجه:

در دگرگونی آلوشیمی:

- تبادل یونی داریم که سبب تغییر ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی می‌شود.
- نمونه شایع آن متاسوماتوز است (اسکارن)

در دگرگونی ایزوشیمی یا توپوشیمیایی:

- تبادل یونی نداریم که سبب تغییر ترکیب کانی‌شناسی شده ولی ترکیب شیمیایی ثابت است.
- دگرگونی ایزوشیمی تبادل یونی با خارج ندارد (بازالت و گابرو ← اکلوژیت)
- دگرگونی ایزوشیمی یک امر نسبی است، پس ایزوشیمی واقعی وجود ندارد.

پاراژنز: مجموعه کانی‌های که شرایط تشکیل یکسان داشته و با هم در تعادل‌اند.

طبق نظر گلدشمیت تعداد فاز یا کانی یک سنگ برابر با تعداد اکسیدها یا کمتر از آن است.

دگرشکلی سنگ‌ها:

اگر ماده بدون تغییر حجم، بر اثر استرس تغییر شکل دهد، دگرشکلی را لغزشی یا برشی گویند.

انواع دگرشکلی:

۱- **الاستیک:** بازگشت به شکل اولیه پس از حذف نیرو.

۲- **پلاستیک:** عدم بازگشت به شکل اولیه پس از حذف نیرو.

۳- **شکست:** بیشترین تحمل استرس تا قبل از شکست جسم (مقاومت نهایی).

انواع استرس σ:

۱- کششی: افزایش حجم، مانند ساخت سوسیسی یا بودین.

۲- فشردگی: کاهش حجم، مانند چین‌خوردگی.

۳- لغزشی: شکل ظاهری تغییر ولی حجم ثابت است.

خزش یا Creep (تغییر شکل پلاستیک):

۱- لغزش انتقالی یا لغزش: شکل خارجی بلور تغییر می‌نماید ولی کانی جدیدی به وجود نمی‌آید.

۲- لغزش دوقلو یا دوقلوی مکانیکی: بخشی از ساختمان نسبت به بخش مجاور جابه‌جا می‌شود ولی نسبت به آن همانند تصویر در آینه به حالت متقارن باقی می‌ماند (مانند Plg).

جریان تراوشی یا انحلال بر اثر فشار: ذرات از مناطق پرفشار به کم‌فشار نقل‌مکان می‌کنند.

مکانیسم رشد کانی‌ها:

۱- **تراوشی:** رشد کانی‌ها در فضای خالی سنگ که در جهت کاهش انرژی و ثبات بیشتر در سنگ صورت می‌گیرد.
(مثل عدسی‌های کوارتز در میکاشیست)

۲- **رشد کنکرسیونی:** رشد بلورها با کنارزدن بلورهای مجاور که در این محیط نیروی تبلور بالاست و محیط فوق اشباع است.

(مثل چشم‌ها در ساخت چشمی)

توجه: در رشد تراوشی جا برای رشد وجود دارد ولی در رشد کنکرسیونی بلور باید جا باز کند.

۳- **رشد جانشینی:** جابجایی بلورها و اشغال حجم کانی دیگر (در جانشینی پیچیده دوطرفه، انرژی آزاد با اهمیت است و به سمتی می‌رود که انرژی کل سیستم کاهش یابد).
(مثل بافت غربالی)

نکته:

❖ جانشینی سبب می‌شود که مواد یا بلورهای دیگر در داخل بلور در حال رشد به دام بیافتند (انکلوزیون) و اگر تعداد این انکلوزیون ها زیاد باشد، ایجاد ساخت غربالی می‌نماید که به آن ساخت پویی کیلوبلاستیک گویند.

❖ انحلال فشارشی = اصل ریکی = خزش کوبل = خزش ناباروهرینگ = حل شدن در نقطه بیشترین فشار و ته‌نشینی در نقطه کمترین فشار را گویند.

❖ سه کانی کوارتز، ایلمنیت و گرانیت از کانی‌های ویژه‌ای هستند که در تشکیل شیستوزیته داخلی شرکت دارند.

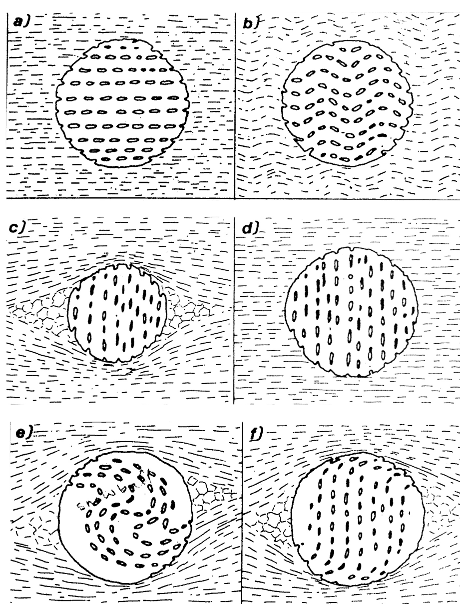
❖ ایجاد ساخت غربالی و ساخت پویی کیلوبلاست به‌وسیله جانشینی است.

رشد پورفیرو بلاستها:

۱- **بعد از حادثه تکتونیکی** (**Post**tectonic): اول تکتونیک سبب تشکیل شیستوزیته شده و سپس پورفیروبلاست رشد می کند.

۲- **قبل از حادثه تکتونیکی** (**Pre**tectonic): حادثه دگرگونی رخ داده و فقط شیستوزیته کمی تغییر می کند و روی پورفیروبلاست ها تأثیری ندارد.

۳- **همزمان با تکتونیک** (**Syn**tectonic): یک حالت چرخشی یا دورانی در شیستوزیته داخلی دیده می‌شود.



نام‌گذاری سنگ‌های دگرگونی:

- بر اساس ترکیب سنگ اولیه:

به بقایای سنگ اولیه پرتولیت گویند

اگر پروتولیت سنگ دگرگونی باشد پیشوند ← متا

اگر پروتولیت سنگ آذرین باشد پیشوند ← ارتو

اگر پروتولیت سنگ رسوبی باشد پیشوند ← پارا

- بر اساس ساخت سنگ:
  - سنگ‌های فاقد شیستوزیته: مانند هورنفلس – اسکارن – کوارتزیت و مرمر.
  - سنگ‌هایی دارای شیستوزیته: حالت شیستی و نواری

توجه: دگرگونی در سنگ‌های رسوبی:

۱- پلیتی باشند: ایزوشیمیایی یا توپوشیمیایی، زون‌های منظم

۲- آهکی باشند: آلوشیمیایی یا متاسوماتیسم، زون‌ها نامنظم

ضخامت هاله در سنگ‌های دگرگونی:

هر چه دمای سنگ میزبان کمتر باشد، ضخامت هاله بیشتر است.

آذرین ⟨ دگرگونی ⟨ ماسه‌سنگ‌ها ⟨ سنگ‌های پلیتی (ایزوشیمیایی) و آهکی (آلوشیمیایی)

کاهش ضخامت هاله دگرگونی ⟵

قانون فازها (گیبس):

V = واریانس یا تعداد متغیرها	سیستم‌های ۱ تشکیل‌دهنده ← $V+P=C+2$
P = تعداد فازها	سیستم‌های ۲ تشکیل‌دهنده ← $V+P=C+۱$ $(\downarrow P, \uparrow V)$
C = تعداد تشکیل‌دهنده‌ها	سیستم‌های ۳ تشکیل‌دهنده ← $V+P=C+۱$

پاراژنز:

مجموعه کانی‌هایی که شرایط تشکیل و پایداری آن‌ها مشابه بوده و با هم در تعادل شیمیایی و ترمودینامیکی می‌باشند.

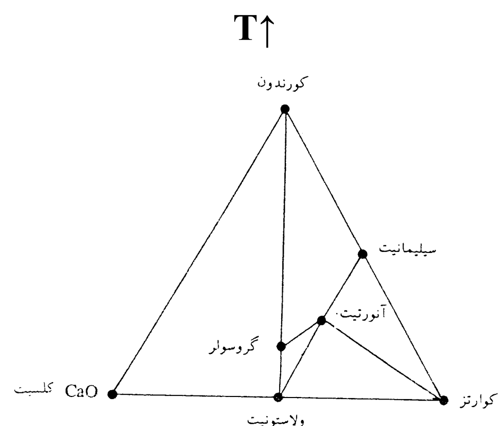
در یک سنگ دگرگونی، کوارتز با الیوین Mg دار و هماتیت با گرافیت دیده نمی‌شود.

در مثلث کانی‌هایی که در سه رأس یک مثلث قرار می‌گیرند، می‌توانند به‌صورت پاراژنز یافت شوند.

پاراژنز کانی‌های همزیست در سیستم سه‌تایی $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$:

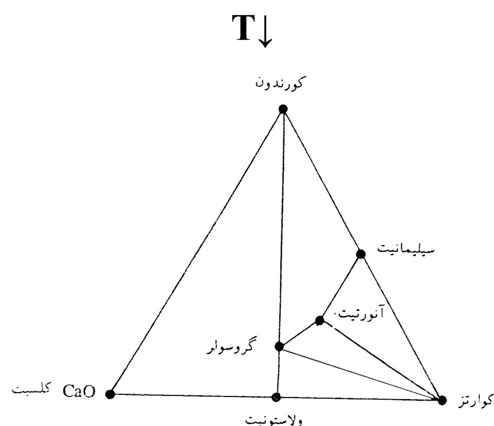
{Al_2O_3 = کروندون، SiO_2 = کوارتز، CaO = کلسیت}

T↑



اگر با ثابت بودن فشار P، حرارت T را افزایش دهیم:

T↓



اگر با ثابت بودن فشار P، حرارت T را کاهش دهیم:
خط گروسولار –کوارتز ایجاد خواهد شد

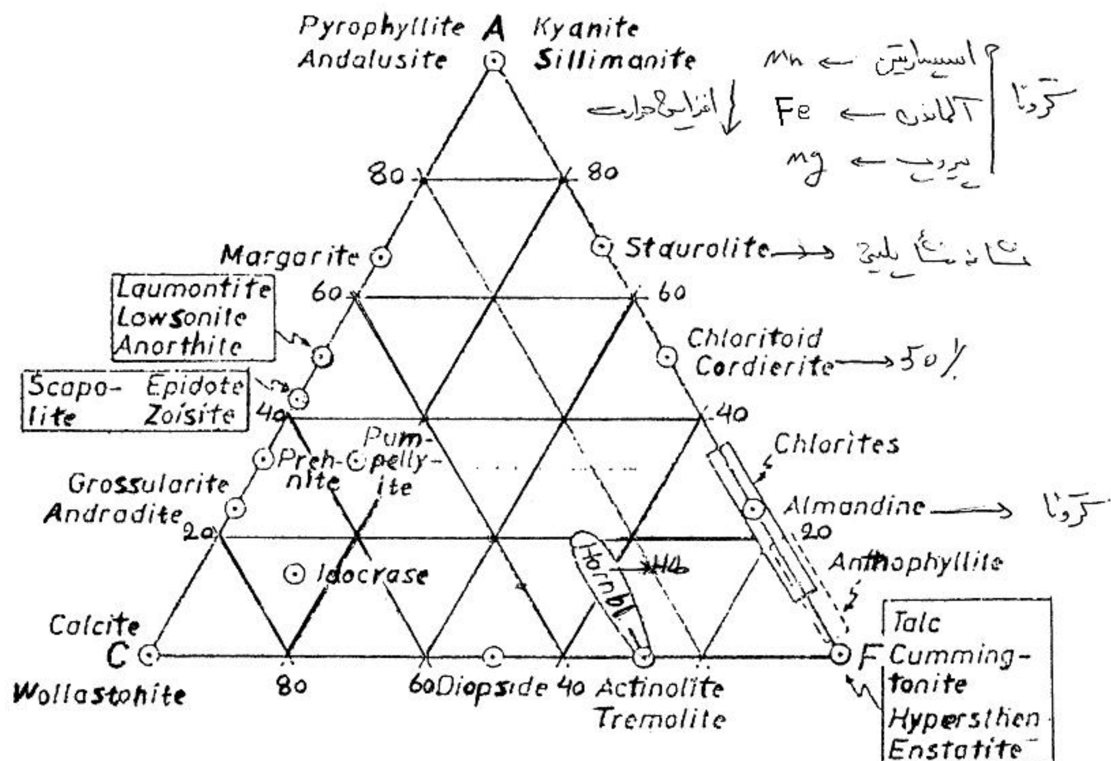
خط گروسولار –کوارتز حذف خواهد شد.

خط ولاستونیت – آنورتیت ایجاد خواهد شد

خط ولاستونیت – آنورتیت حذف خواهد شد

گرونا: اسپسارتین ← Mn، آلماندن ← Fe، پیروپ ← Mg (افزایش حرارت)

دیاگرام ACF جهت پلات کردن کانی‌ها:



ابتدا نسبت مولکولی اکسیدها را محاسبه می‌کنیم (به SiO_2، CO_2، H_2O توجهی نمی‌کنیم):

نسبت مولکولی اکسید= درصد وزنی اکسید / جرم مولکولی اکسید

	در حالت عادی	اما در صورت وجود:
قطب A	$Al_2O_3+Fe_2O_3$	Alb یا F در سنگ: **A** = $(Al_2O_3+Fe_2O_3)-(Na_2O+K_2O)$
قطب C	CaO	آپاتیت در سنگ: **C** = $CaO - 3.3P_2O_5 - CO_2$

قطب F	MnO+MgO+FeO	مگنتیت وایلمنیت در سنگ: **F** = MnO+MgO+ $\hat{FeO}$ $\hat{FeO}$= FeO+TiO_2+Fe_2O_3

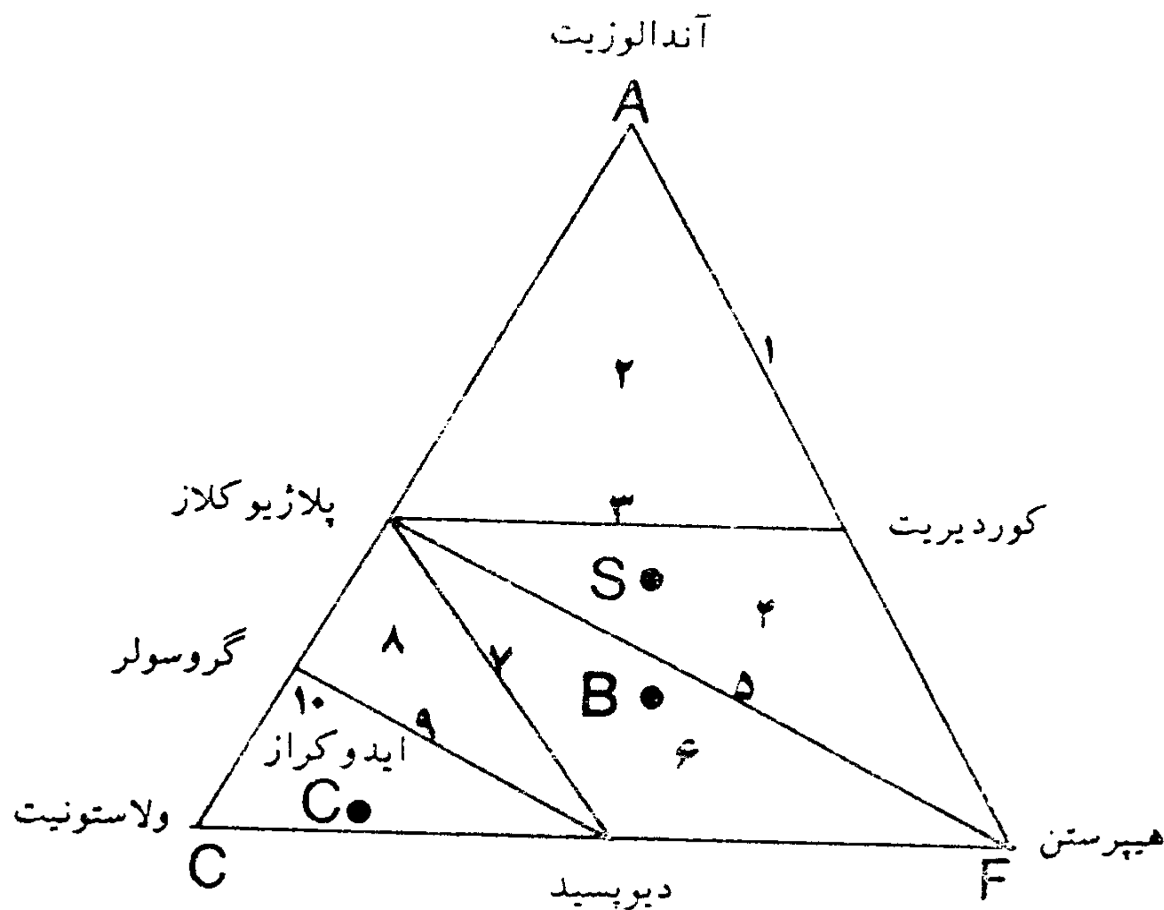
به کمک دیاگرام ACF می‌توان ۱۰ نوع هورنفلس را که با شماره مشخص‌شده‌اند را نشان داد.

در این شکل:

ترکیب متوسط‌ها با S،

پوسته اقیانوسی با حرف B

و سنگ‌های آهکی با حروف C نشان داده‌شده‌اند: (رده‌بندی گلدشمیت).

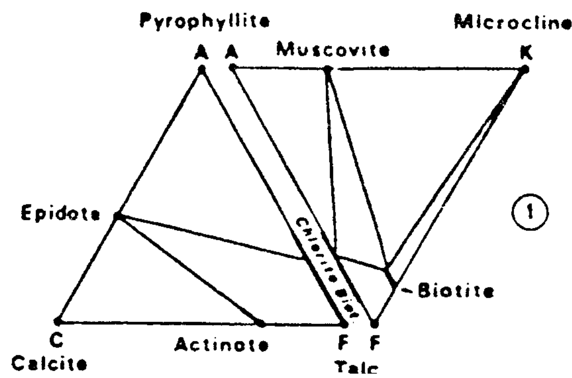


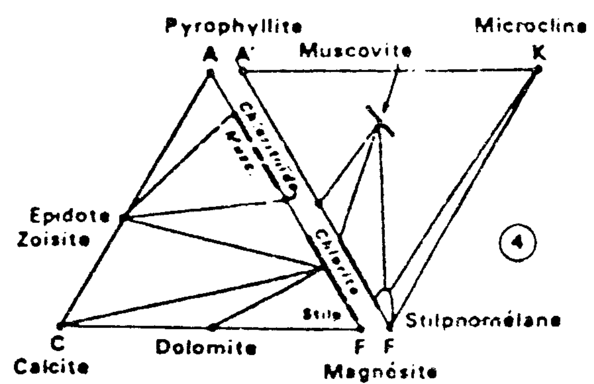
در تصویر صفحه بعد:

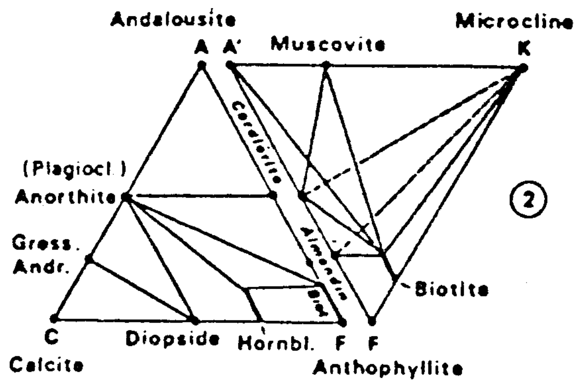
دیاگرام‌های ۱ و ۲ و ۳ مربوط به سری رخساره‌های آندالوزیت - سیلمانیت دار است.

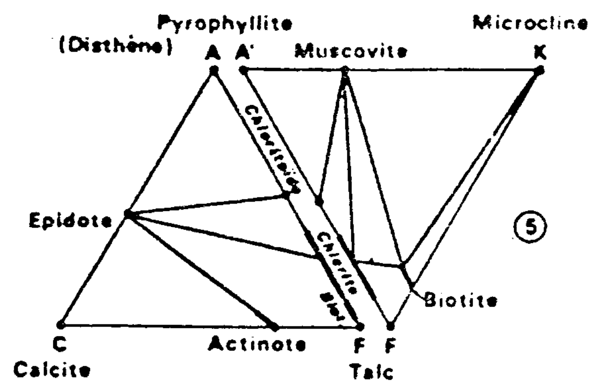
دیاگرام ۴ و ۵ و ۶ و ۷ مربوط به سری رخساره دیستن - سیلیمانیت دار است.

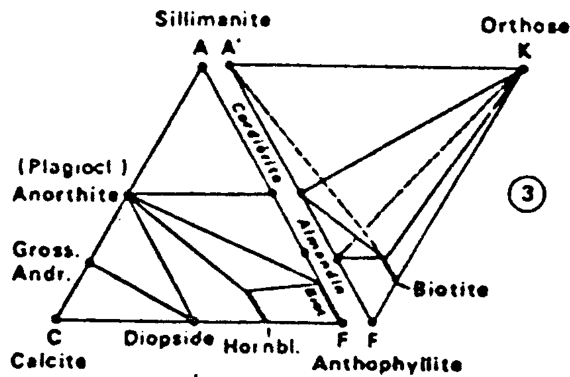
دیاگرام ۸ مربوط به رخساره گرانولیت است (که خود برحسب شرایط شامل دو سری سیلیمانیت؟ دیستن است).

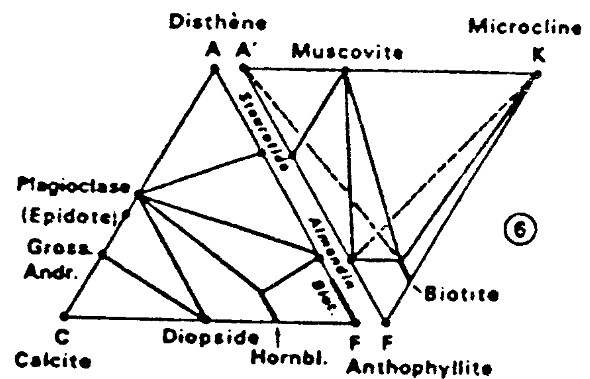

Pyrophyllite
A A
Muscovite
Microcline
K
Epidote
1
Chlorite Biot.
Biotite
C
Calcite
Actinote
F F
Talc

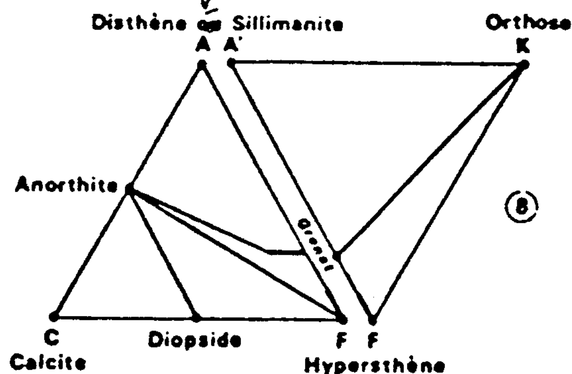

Pyrophyllite
A A'
Muscovite
Microcline
K
Chloritoide
Musc.
Epidote
Zoisite
Chlorite
4
Stilp
C
Calcite
Dolomite
F F
Magnésite
Stilpnomélane

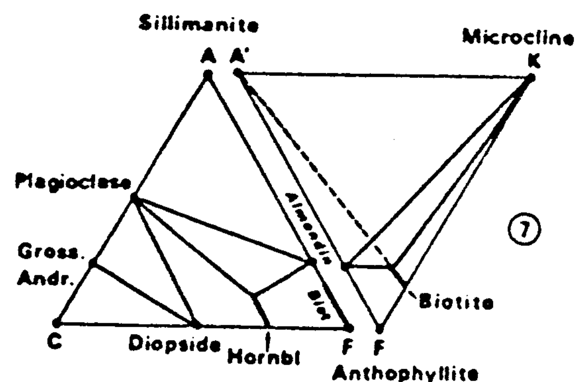

Andalousite
A A'
Muscovite
Microcline
K
Cordierite
(Plagiocl.)
Anorthite
2
Almandin
Gross.
Andr.
Biot.
Biotite
C
Calcite
Diopside
Hornbl.
F F
Anthophyllite


Pyrophyllite
(Disthène)
A A'
Muscovite
Microcline
K
Chloritoide
Epidote
Chlorite
Biot.
5
Biotite
C
Calcite
Actinote
F F
Talc


Sillimanite
A A'
Orthose
K
Cordierite
(Plagiocl.)
Anorthite
3
Almandin
Gross.
Andr.
Biot.
Biotite
C
Calcite
Diopside
Hornbl.
F F
Anthophyllite


Disthène
A A'
Muscovite
Microcline
K
Staurotide
Plagioclase
(Epidote)
Almandin
6
Gross.
Andr.
Biot.
Biotite
C
Calcite
Diopside
Hornbl.
F F
Anthophyllite


Disthène ou Sillimanite
A A'
Orthose
K
Anorthite
Grenat
8
C
Calcite
Diopside
F F
Hypersthène


Sillimanite
A A'
Microcline
K
Plagioclase
Almandin
7
Gross.
Andr.
Biot.
Biotite
C
Diopside
Hornbl
F F
Anthophyllite

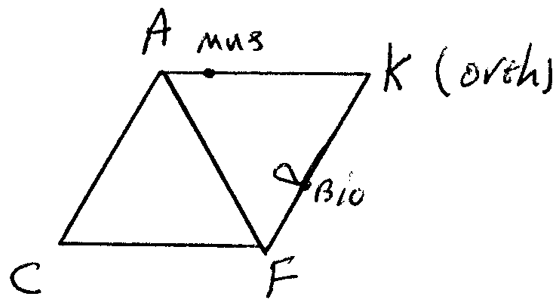
دیاگرام AFK یا A'FK (تامپسون یا متابازیت):

از این دیاگرام جهت پلات کردن، موسکوویت، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم و استیلپنوملان استفاده می‌شود.

A' قطب $\Rightarrow A' = (AL_2o_3 + Fe_2o_3) - (Na_2o + K_2o + Cao)$

K قطب $\Rightarrow K = K_2o$

F قطب $\Rightarrow F = Feo + Mgo + Mno$



نکات:

- دو دیاگرام ACF و $A'FK$ در مورد کانی‌های فرعی مانیتیت، هماتیت، آپاتیت، ایلمینیت، اسفن و روتیل اطلاعاتی به ما نمی‌دهند.
- اما برای سنگ‌های متابازیت که سنگ اولیه‌شان مافیک بوده و بر اثر دگرگونی به هورنفلس تبدیل می‌شوند با توجه به کانی‌های دیوپسید، هیپرستن، هورنبلند، اکتینولیت، آنورتیت و غیره موجود در آن‌ها دیاگرام‌های مناسبی هستند.
- در دیاگرام‌های ACF و $A'FK$ آلبیت نداریم.
- شرایط وجود آلبیت (Ab): کمبود Al و Ca برای ساختن Plg.

دیاگرام AFM یا متاپلیت:

در این دیاگرام کانی‌های Mg و Fe دار از هم تفکیک شده‌اند.

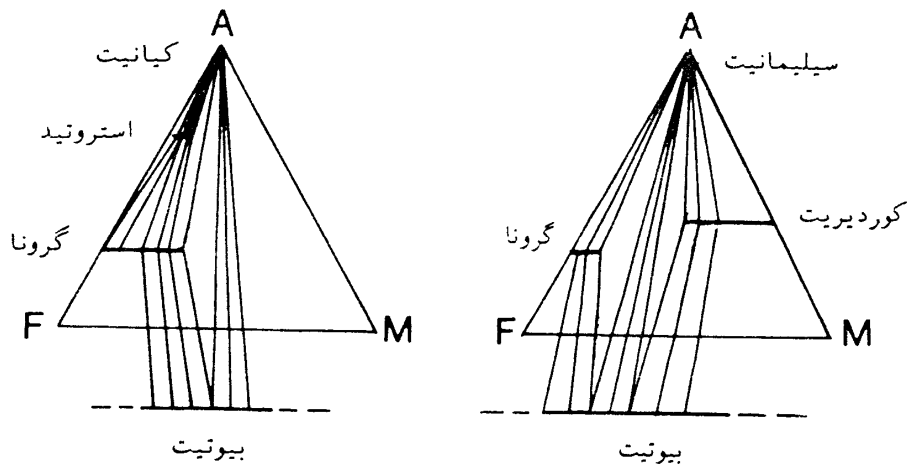
(قطب) $A = Al_2o_3 - (Na_2o + K_2o + Cao)\quad A = Al_2o_3 - 3K_2o$

(قطب) $F = Feo + Mno$

(قطب) $M = Mgo$

نکات:

- دیاگرام AFM: برای نمایش مجموعه کانی و سنگ‌های دگرگونی مشتق از رسوبات شیل ها و ماسه‌های شیلی بسیار مفید است.
- دیاگرام:SCM می‌توان کانی‌های ولاستونیت کلسیت دولومیت منیزیت بروسیت پریکلاز فورستریت سرپانتین ترمولیت و دیگر سیلیکات‌ها را پلات نمود.



توجه: دیاگرام‌های AFM برای مجموعه بیوتیت + دیستن + استروئید (زون دیستن) و مجموعه سیلیمانیت + گرونا + بیوتیت (زون سیلیمانیت) در هر دو شکل Bio در خارج از مثلث است. خطوط فشرده معرف ترکیبات کانی‌ها بر اثر جانشینی‌های Mg و Fe است.

درصد کانی‌های فرعی که به طریق زیر از تجزیه شیمیایی در دیاگرام ACF کم می‌کنیم:

۱- به میزان مساوی وزن هماتیت از Fe_2O_3

۲- به میزان ۳۰٪ وزن اسفن از CaO

۳- به میزان ۳۰٪ وزن منیتیت از FeO

۴- به میزان ۷۰٪ وزن منیتیت از Fe_2O_3

۵- به میزان ۵۰٪ وزن ایلمینیت از FeO

$$\text{نسبت مولکولی اکسیدها} = \frac{\text{درصد وزن اکسید}}{\text{وزن مولکولی اکسید}}$$

اقسام دگرگونی:

❖ **ناحیه‌ای** یا **عمومی** یا **دینا موترمال** یا **دینامیکی**:

۱- هر دو عامل فشار و حرارت از کم تا زیاد در آن مؤثرند.

۲- اکثر سنگ‌های آن تورق دارند (آن ایزوتروپ).

۳- گسترش آن زیاد است.

۴- شامل دگرگونی‌های ناحیه‌ای – تدفینی و اتومتامورفیسم می باشد.

۵- دگرگونی ناحیه‌ای به هنگام انجام کوه‌زایی که با حرکت صفحات لیتوسفر همگرا توأم است انجام می شود.

۶- دگرگونی ناحیه ای = سین تکتونیک = همزمان با تکتونیک، مانند زون سنندج – سیرجان که در سیمرین پیشین به وقوع پیوسته است.

❖ دگرگونی **حرارتی** یا **همبری** یا **مجاورتی**:

۱- عامل مهم حرارت است.
۲- حرارت از توده نفوذی و ماگمایی است.
۳- ناحیه آن محدود است.
۴- تورق آن کم می باشد.

❖ دگرگونی **دفنی** یا **تدفینی**:

ساخت ثابت مانده و ترکیب کانی‌شناسی تغییر می‌کند، فاقد فشار جهت‌دار است و عموماً فشار همه‌جانبه می باشد (درکل تأثیر حرارت بیشتر از فشار است).

❖ دگرگونی **حرکتی** یا **پویا** یا **کاتاکلاستیک**:

بر اثر حرکت گسل (فشار و حرارت کم) ایجاد می شود. در آن تغییرات کانی‌شناسی مثل دفنی اصلاً نداریم ولی بافت تغییر کرده و سنگ خرد می شود.

❖ دگرگونی **اتومتامورفیسم** یا **کف اقیانوسی**:

آب در ریفت های میان اقیانوسی نفوذ (c ۲)، سپس گاز SO_2 در آن حل شده و خاصیت اسیدی می‌یابد (PH کاهش می‌یابد)، سپس وارد شکستگی سنگ‌های فوق بازیک شده (پریدوتیت) و آن‌ها را به سرپانتینیت و اسپیلیت دگرگون می کند.

اسموکر: مواد حاصل از انحلال در آب (خاکستر) در محل پشته میان اقیانوسی به سطح می‌آید و به‌صورت ستونی از ذرات معلق و بخار آب از کف دریا فوران می کند.

توجه: در ریفت های اقیانوسی رخساره پرهنیت – پامپلی ئیت که باید بین رخساره زئولیتی و شیست سبز باشد یافت نمی‌شود.

متاسوماتوز: تغییر ترکیب شیمیایی سنگ در حالتی که پیوسته جامد است.

مهاجرت:

متاسوماتیسم انتشاری: مهاجرت از راه انتشار، حرکت در جهتی که تمرکز کم است

متاسوماتیسم تراوشی: مهاجرت از راه تراوش، مواد محلول در اطراف نفوذ می کند.

توجه: پدیده متاسوماتیسم تراوشی گسترش بیشتری دارد.

فینیتی شدن: نوعی متاسوماتیسم که در اطراف توده نفوذی کربناتیتی به وجود می‌آید.

❖ دگرگونی **چندباره** یا **مرکب**:

۱- پیش‌رونده یا پروگراد: شدت دگرگونی دوم از اول بیشتر است.
۲- پس‌رونده یا رتروگراد یا دیافتورز: شدت دگرگونی دوم از اول کمتر است.

❖ دگرگونی **ایزوشیمی** و **آلوشیمی**:

- ایزوشیمی: عمل دگرگونی در سیستم بسته و تبادل یونی برقرار نبوده و ترکیب کانی‌شناسی متغیر ترکیب شیمیایی ثابت است. به‌طور مثال: بازالت و گابرو ← اکلوژیت
- آلوشیمی: تبادلات یونی داریم، ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی متغیر است، به‌طور مثال: آهک ← اسکارن.

توپوشیمیایی = ایزوشیمیایی

آلوشیمیایی = متاسوماتیک

نکات:

- درجه زمین‌شناسی فشاری در پوسته ۲۷ مگا پاسکال و در گوشته ۳۳ مگا پاسکال است.

  اگر $p_f = p_l$ درجه زمین فشارشی یا رابطه بین عمق و فشار برقرار است.

  اگر $p_f \rangle p_l$ درجه زمین فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار نیست.

- در دگرگونی دینامیکی یا کاتا کلاستیکی:

  کاتاکلازیت ← میلونیت ← الترامیلونیت ← پسدوتاکی لیت

  افزایش خردشدگی

- در دگرگونی تدفینی ترکیب کانی‌شناسی تغییر، ولی ساخت اولیه حفظ می شود.
- دگرگونی استاتیک همان تدفینی است که بر اثر درجات حرارت و فشار سیالات به وجود می‌آید.
- در دگرگونی اقیانوسی یا اتومتامورفیسم به علت فشار پایین، رخساره پرهنیت – پامپلی ئیت را نداریم.
- در متاسوماتوز: جانشینی مواد در حالتی روی می‌دهد که سنگ پیوسته جامد است.
- در مقابل سیالات ماگمایی کربناته کوارتز ناپایدار ولی فلدسپات پایدار است.
- عامل اصلی در دگرگونی پیش‌رونده و پس‌رونده (مرکب)، حرارت می باشد.
- **کانی‌های ردیاب:**

تعیین زون‌های دگرگونی به روش بارو

سیلیمانیت → دیستن → استروئید → گرونا → بیوتیت → کلریت

افزایش درجه دگرگونی

- **شرایط استفاده از کانی‌های ردیاب عبارت‌اند:**

  ۱- کانی‌ها پورفیرو بلاست باشند.

  ۲- ترکیب شیمیایی سنگ پلیتی ثابت باشد.

- جانشینی در دگرگونی قهقرایی:

  ۱- کلریت به‌جای گرونا

  ۲- آمفیبول به‌جای پیروکسن

  ۳- موسکوویت به‌جای آندالوزیت یا کیانیت (دیستن)

- جانشینی در دگرگونی‌های مرکب:

  ۱- گارنت ← با کلریت

۲- Amph ← با Px

۳- Mus ← با آندالوزیت، کیانیت (دیستن)

۴- ارتوز ← با لوسیت

۵- آلبیت ← با نفلین

۶- استروئید ← با میکا

نگاهی به زون‌های دگرگونی:

منطقه دگرگونی	شدت دگرگونی	تغییر و تحولات دگرگونی (کانی‌شناسی)	سنگ دگرگونی
اپی زون	بسیار ضعیف تا ضعیف	وجود کانی‌های مثل تالک، سرسیت، اکتینو، اپیدوت، Mus، کلریت و کلریتوئید. با افزایش Na گلاکوفان رشد می‌کند، کوارتز ریز تا بسیار ریز و Plg (Na).	گرین شیست (اپیدوت و کلریت و اکتینوت) بلوشیست (گلاکوفان) وایت شیست (Mus و تالک)
مزوزون	متوسط	رشد کوارتز (متوسط)، Plg کمی کلسیم‌دار، تالک و کلریک از بین رفته و تره مولیت و بیوتیت جانشین می‌شوند. کانی رسی تماماً حذف شده و به آندالوزیت استارولیت، گارنت و کیانیت تبدیل می شود.	میکاشیست
کاتازون	قوی	Mus کاملاً از بین می‌رود، ارتوکلاز و سیلیمانیت مشاهده می‌گردد. Bio هنوز باقی است، کوارتز درشت و Plg (Ca)، گارنت و کیانیت تبدیل می شود	گنایس میکادار
الترازون	بسیار قوی	سنگ فاقد کانی آبدار است، Bio از بین رفته و بجای آن Hlb و اوژیت و هیپرستن جانشین شده است. وجود دیوپسید (Px50%) نشان‌دهنده Ca بسیار بالا، بنابراین Plg(Ca) زیاد است.	گنایس بدون میکا یا گرانولیت

مطالعه رخساره‌های دگرگونی:

رخساره دگرگونی:

۱- ترکیب شیمیایی متفاوت

۲- شرایط ترمودینامیکی ثابت

زون دگرگونی:

۱- ترکیب شیمیایی ثابت

۲- شرایط ترمودینامیکی متغیر

یک رخساره دگرگونی، شامل سنگ‌هایی با ترکیب شیمیایی متفاوت است که در طی دگرگونی، تحت شرایط فیزیکی یکسان به تعادل شیمیایی رسیده‌اند.

اقسام مهم رخساره‌های دگرگونی:

	نام رخساره	ترکیب کانی شناسی
دگرگونی تدفینی	۱- زئولیتی	زئولیت‌ها بویژه لومونتیت و هولاندیت و همچنین آنالسیم مجموعه کانیها عبارتند از کوارتز + لومونتیت + کلریت
	۲- پرهنیت - پومپله‌ایت	پرهنیت ± پومپله‌ایت + کوارتز اصلی هستند (بدون زئولیت یا گلوکوفان یا لاوسونیت)
	۳- شیست گلوکوفان - لاوسونیت دار یا شیست های آبی	گلوکوفان + لاوسونیت و همچنین ژاده‌ایت + کواتز + آراگونیت
دگرگونی ناحیه‌ای	۴- شیست سبز	آلبیت + اپیدوت + آکتینوت ± کلریت ± کلسیت در سنگهای مافیک و پیروفیلیت در سنگهای پلیتی
	۵- آمفیبولیت	هورنبلاند + پلاژیوکلاز (درصد آنورتیت بیش از ۲۰ درصد) در سنگهای بازیک و دیستن در سنگهای پلیتی
دگرگونی ناحیه‌ای	۶- گرانولیت	اوژیت + ارتوپیروکسن + پلاژیوکلاز و همچنین گرونای آهن و منیزیم دار
	۷- اکلوژیت	مجموعه کانیهای بدون فلدسپاتی که با حضور کلینوپیروکسن سرشار از ژاده‌ایت و گرونای سرشار از پیروپ در سنگهای بازیک.
دگرگونی مجاورتی	رخساره ها مجاورتی	مشابه با رخساره های شیست سبز و آمفیبولیت بوده ولی تنها در مجاورت توده آذرین نفوذی دیده می شوند. در سنگهای پلیتی آندالوزیت هم بوجود می آید.

توجه:

۱- رخساره سانیدینیت: حرارت بالا (همبری یا مجاورتی)

۲- رخساره اکلوژیت: فشار بالا (ناحیه ای یا سین تکتونیک)

انواع رخساره‌های دگرگونی ناحیه ای: (عوامل فشار و حرارت مؤثرند)

۱- رخساره شیست سبز:

بیشترین رخنمون در سطح زمین را دارد، حرارت ۳۰۰ تا ۵۰۰، کانی‌های شاخص آن: اپیدوت، کلریت، آلبیت، اکتینولیت، بیوتیت، گارنت، پیروفیلیت، موسکوویت و کمتر کلریتوئید. شاخص این رخساره رخ اسلیتی و شیستوزیته است. مرز بالای آن قبل از ظهور استارولیت و دیوپسید مشخص می شود.

۲- رخساره گارنت - آمفیبولیت یا آمفیبولیت:

- کانی‌های آن استارولیت، کیانیت، سیلیمانیت، موسکوویت، آنتوفیلیت و دیوپسید حرارت ۵۲۵ تا ۸۰۰، آمفیبولیت در دگرگونی ناحیه ای و همبری تشکیل می شود.
- بهترین مناطقی که این رخساره رخنمون دارد، زون‌های تصادم قاره است.
- این رخساره بر اساس تغییرات فشار به ۳ بخش تقسیم می شود.

۱- فشار کم ← شامل کردیریت + آندالوزیت

۲- فشار متوسط ← سیلیمانیت

۳- فشار زیاد ← کیانیت

۳- رخساره آمفیبولیت در سنگ‌های مختلف:

الف) سنگ‌های مافیکی: Plg (با بیش از ۲۵٪ آنورتیت)، هورنبلند سبز و اپیدوت در زون استارولیت و هورنبلند قهوه‌ای در زون‌های بالاتر، دیوپسید، در سنگ‌های غنی از Bio, Ca در سنگ‌های غنی از پتاسیم.

ب) سنگ‌های اولترامافیکی: آنتی گوریت در زون اول، دیوپسید، استارولیت، آنتوفیلیت، الیوین و اکتینولیت.

ج) گری وک و ماسه‌سنگ: پلاژیوکلاز با بیش از ۲۵٪ An، Mic در زون اول، ارتوکلاز در زون‌های بالاتر، بیوتیت و موسکوویت.

د) شیلها: Plg، Qtz، Mic در زون اول، ارتوکلاز در زون بالاتر، استارولیت، کیانیت، سیلیمانیت، موسکوویت، بیوتیت و کوردیریت.

ه) سنگ‌های کربناته: کلسیت، دیوپسید، گروسولاریت، آندرادیت، ترمولیت، هورنبلند، پلاژیوکلاز ($An\rangle 25\%$)، آیدوکراز، اپیدوت در زون پایین.

٤- رخساره گرانولیت: (فاقد کانی آبدار)

- بافت سنگ‌های رخساره گرانولیت دانه‌متوسط تا دانه‌درشت است و این سنگ‌ها به گنیس معروف هستند.
- رخساره گرانولیت شامل ۲ زون می باشد:

الف) زون هورنبلند – ارتوپیروکسن: حاوی میکاها، آمفیبولها و پیروکسن.

ب) زون ارتوپیروکسنها: حاوی ارتوپیروکسن.

۵- رخساره اکلوژیت: (معادل حرارتی ندارد)

- کانی‌های شاخص آن گارنت قرمز رنگ (پیروپ) و پیروکسن (امفاسیت) می باشد.
- دانشمندان معتقدند رخساره اکلوژیت در شرایط جبه فوقانی، اعماق پوسته تحتانی و زون فرورانش تشکیل شده است.

مقایسه دگرگونی ناحیه ای در سنگ‌های رسوبی غنی از کانی‌های رسی، سنگ‌های آذرین و کربناته:

رخسارهٔ دگرگونی	سنگهای مافیکی	سنگهای اولترامافیکی	سنگهای رسی	سنگهای کربناته
زئولیت	زئولیت، زوئیزیت، آلبیت پرهنیت	سرپانتین، بروسیت، کلریت، دولومیت و مگنزیت	کانیهای رسی و کوارتز کوارتز، آلبیت و کلریت	کلسیت، دولومیت کوارتز
شیست سبز	کلریت، اکتینولیت، اپیدوت زوئیزیت، آلبیت	سرپانتین، تالک، ترمولیت بروسیت، دیوپسید، کلریت	کوارتز، پلاژیوکلازکلریت مسکویت، بیوتیت، گارنت و پیروفیلیت	کلسیت، دولومیت مسکویت و بیوتیت
پرهنیت - پامپلی‌ئیت	کلریت، پرهنیت، آلبیت پامپلی‌ئیت، اپیدوت	سرپانتبی، تالک، فورستریت، ترمولیت، کلریت	کواتز، ایلیت، مسکویت، آلبت و کلریت	کلسیت، دولومیت، کوارتز تالک و مسکویت
اپیدوت - آمفیبولیت	هورنبلند، اکتینولیت پلاژیوکلاز و اپیدوت یا زوئیزیت	فورستریت، ترمولیت، تالک سرپانتین و کلریت	کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت مسکویت و بیوتیت	کلسیت، دولومیت، مسکویت بیوتیت و ترمولیت
آمفیبولیت	هورنبلند، پلاژیوکلاز	فورستریت، ترمولیت، آنتوفیلیت کلریت و ارتوپیروکسن	کوارتز، پلاژیوکلاز، کلریت، مسکویت، بیوتیت، گارنت استارولیت و کیانیت	کلسیت، دولومیت، کوارتز،دیوپسید بیوتیت، ترمولیت، فورستریت وپلاژیوکلاز
گرانولیت	هورنبلند، اوژیت، ارتوپیروکسن پلاژیوکلاز	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت هورنبلند، گارنت اسپینل	کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز گارنت، کوردیریت سیلیمانیت	کلسیت، کوارتز، فورستریت دیوپسید، ولاستونیت و هومیت
شیست آبی	گلاکوفان، لاسونیت، آلبیت آراگونیت، کلریت و زوئیزیت	فورستریت، سرپانتین و دیوپسید	کوارتز، پلاژیوکلاز، مسکویت کارفولیت، تالک، کلریتوئید و کیانیت	کلسیت، آراگونیت، کوارتز دیوپسید، ترمولیت
اکلوژیت	گارنت غنی از منیزیم، امفاسیت، کیانیت	فورستریت، ارتوپیروکسن اوژیت و گارنت	کوارتز، تالک، کیانیت و گارنت فنجیت و گارنت	کلسیت، آراگونیت، کوارتز فورستریت و دیوپسید

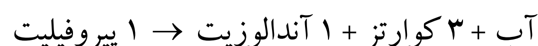
انواع رخساره‌های دگرگونی همبری یا مجاورتی:

در این گروه دگرگونی از فشار صرف‌نظر می کنند.

۱- رخساره آلبیت - اپیدوت هورنفلس:

- حرارت مابین ۳۵۰ تا ۵۰۰ که شامل واکنش‌های:

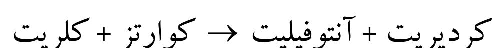

آب + ۱ پیروفیلیت → ۲ کوارتز + ۱ کائولینیت

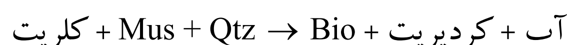

آب + ۳ کوارتز + ۱ آندالوزیت → ۱ پیروفیلیت

- دانه‌ریز بوده و دارای کانی‌های اپیدوت و آلبیت می باشد.

۲- رخساره هورنبلند هورنفلس:

- حرارت $350^{\circ}C \pm 15$ که شامل واکنش‌های:


کردیریت + آنتوفیلیت → کوارتز + کلریت


آب + کردیریت + Bio → Qtz + Mus + کلریت

- در این مرحله کلریت حذف و آنتوفیلیت ایجاد می شود.
- Hlb جانشین اپیدوت و آلبیت شده است.

۳- رخساره پیروکسن هورنفلس:

- حرارت مابین $580\ ^{O}c - 605\ ^{O}c$ که شامل واکنش:

آب + ۱ ارتوز + ۱ آندالوزیت ← ۱ موسکوویت + ۱ کوارتز

- این رخساره فقط در حاشیه توده بازیک یافت می شود.
- شدیدترین رخساره حرارتی است. کانی‌های آن: هیپرستن، کردیریت، دیوپسید، آندرادیت (گارنت Ca دار).
- نام دیگر آن کردیریت فلدسپات است.
- وجود هیپرستن نشان‌دهنده سنگ بازیک اولیه است، وجود کردیریت و آندالوزیت نشان‌دهنده سنگ اولیه پلیتی (رسوبی آواری) و وجود دیوپسید (Px) و گارنت کلسیم‌دار نشان‌دهنده کربنات کلسیم زیاد است و سنگ اولیه می‌تواند آهک یا مارن باشد.

٤) رخساره سانیدینیت:

- حرارت آن $\rangle 800c$، در دگرگونی ترمومتامورفیسم (حرارتی بالا)
- بوکیت: Opx + Plg + کردیریت + کانی اوپک در خمیره شیشه‌ای

مقایسه رخساره‌های دگرگونی ناحیه ای با دگرگونی همبری:

دگرگونی ناحیه ای دگرگونی همبری
رخساره زئولیت – رخساره شیست سبز
آلبیت، اپیدوت هورن فلس – رخساره آمفیبولیت
هورنبلند هورن فلس – رخساره گرانولیت
پیروکسن هورن فلس– سانیدینیت

نکات:

- سنگ‌هایی با منشأ پلیتی در رخساره شیست سبز دارای میکا می‌باشند.
- در دگرگونی ناحیه ای: آمفیبول (آکتینولیت – تره مولیت) معرف رخساره شیست سبز و جداکننده این رخساره از آمفیبولیت است.
- ساخت‌های شیست سبز:

الف) لپیدو بلاستیک ← کلریت

ب) لپیدونماتوبلاستیک ← کلریت + آکتینولیت

ج) گرانونماتوبلاستیک ← کلریت + اکتینولیت + اپیدوت

مقایسه دگرگونی <u>همبری</u> در سنگ‌های رسوبی غنی از کانی‌های رسی، سنگ‌های آذرین و سنگ کربناته (بلت و تریسی، ۱۹۹٦):

رخسارهٔ دگرگونی	سنگهای مافیکی	سنگهای اولترامافیکی	سنگهای رسی	سنگهای کربناته
آلبیت - اپیدوت	آلبیت، اپیدوت یا زوئیزیت	سرپانتین، تالک، ترمولیت	کوارتز، پلاژیوکلاز، مسکویت	کلسیت، دولومیت، کوارتز
هورن‌فلس	اکتینولیت و کلریت	کلریت	کلریت و کوردیوریت	ترمولیت، تالک و فورستریت
هورنبلند هورن‌فلس	هورنبلند، پلاژیوکلاز اتوپیروکسن و گارنت	فورستریت، ارتوپیروکسن هورنبلند و کلریت	کوارتز، پلاژیوکلاز، مسکویت بیوتیت، کوردیوریت وآندالوزیت	کلسیت، دولومیت، کوارتز دیوپسید و فورستریت
پیروکسن هورن‌فلس	ارتوپیروکسن، اوژیت پلاژیوکلاز و (گارنت)	فورستریت، ارتوپیروکسن، اوژیت پلاژیوکلاز و Al-اسپینل	کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز آندالوزیت، سیلیمانیت، کوردیوریت	کلسیت، کوارتز، دیوپسید فورستریت و ولاستونیت
سانیدینیت	ارتوپیروکسن، اوژیت، پلاژیوکلاز	فورستریت، ارتوپیروکسن اوژیت و پلاژیوکلاز	کوارتز، پلاژیوکلاز، سیلیمانیت، کوردیوریت، ارتوپیروکسن وAl-اسپینل	کلسیت، کوارتز، فورستریت ، دیوپسید ولاستونیت، مونتی‌سیلیت و آکرمانیت

انواع رخساره‌های دگرگونی دفنی یا تدفینی:

۱) رخساره زئولیت:

✓ لامونتیت مهم‌ترین کانی شاخص رخساره زئولیت است. کانی‌های استیلبیت، موردنیت و هولاندیت که در سنگ‌های غیر دگرگونی یافت می‌شوند، در رخساره زئولیت به کانی لامونتیت تبدیل می‌شوند این رخساره در محدوده حرارت 200 – ۳۰۰ پایدار است.

✓ معادل دگرگونی درجه خیلی پایین و فاقد رخ اسلیتی است. مرز بالای رخساره زئولیت بر اساس تبدیل لامونتیت به آنورتیت و تبدیل کائولینیت به پیروفیلیت مشخص می شود.

✓ شامل زیر رخساره‌های زیر می باشد:

الف) زیر رخساره لامونتیت – پرهنیت: آغاز دگرگونی با تشکیل لامونتیت

ب) زیر رخساره پرهنیت – پامپلی ئیت: لامونتیت از بین رفته و پرهنیت

توجه: رخساره زئولیتی معرف پایان دیاژنز و آغاز دگرگونی است (لومونتیت – پرهنیت)

۲) رخساره گلاکوفان شیست یا شیست آبی:

✓ در زون فرورانش تشکیل می شود. کمترین گرادیان حرارتی در منطقه گودال‌های عمیق زون فرورانش علت اصلی تشکیل شیست های آبی است.

✓ رخساره شیست آبی به زون فشار بالا (لاوسونیت) و زون فشار پایین (ژادئیت) تقسیم می شود.

✓ پامپلی ئیت نمی‌تواند در زون فشار پایین پایدار باشد، کانی‌های ژادئیت، امفاسیت و آراگونیت در زون فشار بالا پایدار هستند.

✓ گلاکوفان در رخساره شیست آبی پایدار است.

✓ شامل زیر رخساره‌های زیر می باشد:

الف) زیر رخساره آلبیت – لاوسونیت

ب) زیر رخساره لاوسونیت – گلاکوفان

مطالعه کمربند دگرگونی توسط میاشیرو:

الف) کمربند داخلی (طرف قاره): حاوی آندالوزیت – کردیریت = آبوکوما.

ب) کمربند خارجی (طرف اقیانوس): حاوی گلاکوفان – کیانیت و سیلیمانیت = بارووین.

در محل فرورانش:

الف) سرعت فرورانش زیاد (P↑): سری ژاده ایت و گلاکوفان

ب) سرعت فرورانش کم: سری کیانیت و سیلیمانیت (بارووین یا دالراین)

ج) محل فرورانش سمت قاره (T↑): سری آندالوزیت و سیلیمانیت (آبوکوما)

توجه:

I) بارووین: دگرگونی سیلیمانیت – کیانیت ← فشار بالا (کانی فشارسنج) و حرارت پایین

II) آبوکوما: دگرگونی آندالوزیت – کردیریت ← حرارت بالا (کانی حرارت‌سنج) و فشار پایین

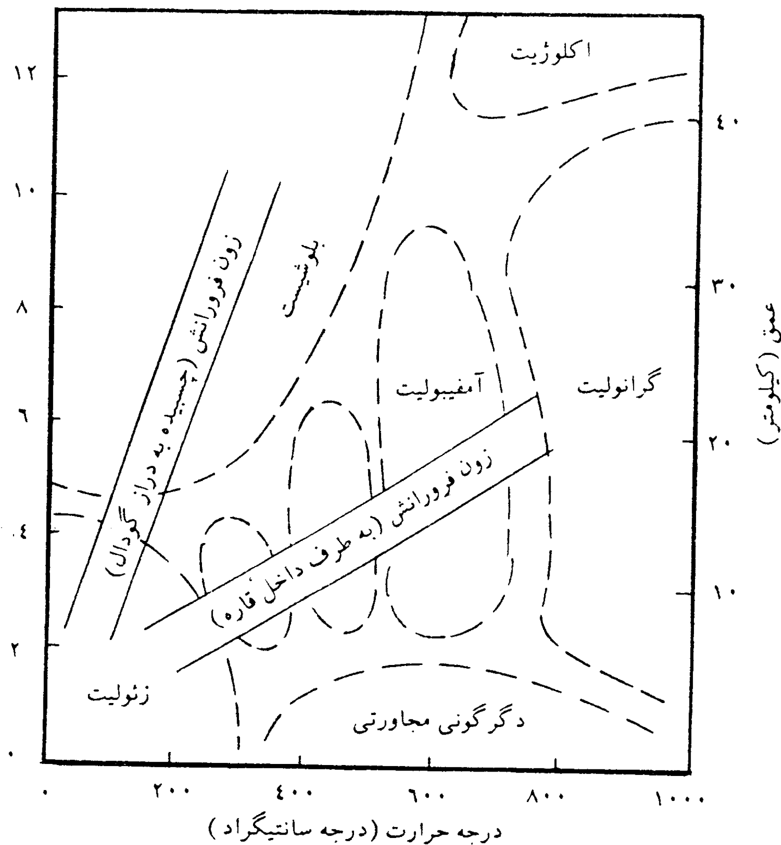
سری رخساره‌ای به وابستگی بین رخساره‌ها می‌گویند:

الف) سری آندالوزیت – سیلیمانیت: فشار کم، حرارت بالا ← آبوکوما

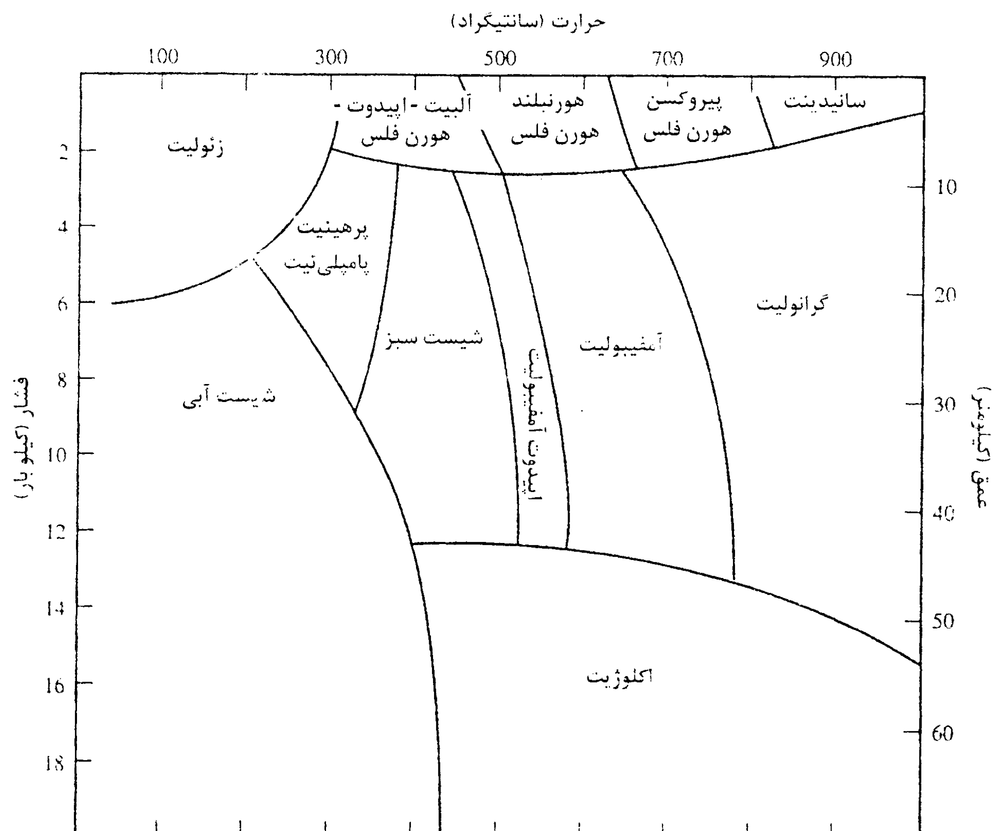
ب) سری سیلیمانیت – دیستن: فشار و حرارت متوسط ← بارووین یا دالراین

ج) سری ژاده ایت – گلاکوفان: فشار زیاد، دما کم مطابق رخساره تدفینی ← سری فرانسیسکن

رخساره‌های دگرگونی و سری رخساره‌هایی که در هر یک از نوارها دوگانه دیده می شود:



نمودار نمایش محدوده رخساره‌های دگرگونی (بلت و تریسی، ۱۹۹۶):



بافت و ساخت در سنگ‌های دگرگونی:

بافت (تکستور) و ساخت (استروکتور)، عموماً در آذرین کاربرد دارند.

فابریک عموماً در دگرگونی استفاده می شود و عبارت است از بررسی شکل و ترکیب فضایی کانی‌های هر سنگ که شکل اولیه خود را از دست داده و دگرگون شده است.

بررسی فابریک: (ساخت + بافت)

الف) ایزوتروپ: دگرگونی همبری ← فشار زیاد مطرح نیست ← گرانوبلاست ← در نمونه دستی ماسیو

ب) آن ایزوتروپ: دگرگونی ناحیه ای ← فشار جهت‌دار ← ایجاد فولیاسیون

بلاست: پیشوند بلاست در سنگ‌های دگرگونی برای مشخص کردن بافت قدیمی سنگ والد مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنانچه کلمه بلاست به‌صورت پسوند بکار رود معرف بافتی است که بر اثر دگرگونی در سنگ به وجود آمده است.

بلاستو پورفیر ← پورفیر طی آذرین به وجود آمده است

پورفیروبلاست ← پورفیر طی دگرگونی به وجود آمده است

کریستالوبلاست: بلور هر کانی که در نتیجه دگرگونی به وجود آید که شامل:

۱- ایدیوبلاست: بلاست خود شکل

۲- هیپیدیوبلاست: بلاست نیمه خود شکل

۳- گزنوبلاست: بلاست بی‌شکل یا نیمه خود شکل به‌صورت سوزنی

توجه:

الف) بافت فولیاسیون: کانی‌های موازی هم

ب) ساخت فولیاسیون: لایه‌های موازی هم

اشکال کلی کانی‌های سنگ دگرگونی:

۱- منشوری: یک بعد بزرگ‌تر از بقیه ابعاد.

۲- سوزنی: شبیه منشوری ولی اختلاف ابعاد فوق در آن خیلی زیادتر است.

(فراوانی سوزنی و منشوری سبب ایجاد بافت نماتوبلاست می شود)

۳- تیغه‌ای: بلور دارای سه بعد متفاوت است.

۴- صفحه‌ای: دو بعد بزرگ‌تر از بعد سوم می‌باشند.

۵- عدسی: بلور در وسط یا میانه ضخیم و در کنارها نازک است.

۶- متساوی البعد: ابعاد بلور در همه جهات یکسان است.

انواع بافت‌های دگرگونی:

۱- گرانوبلاست: کانی‌های تقریباً هم‌اندازه (درشت‌دانه یا ریزدانه)

۲- پورفیروبلاست: کانی‌های درشت درزمینه [۴] ای از کانی‌های ریز

۳- لپیدوبلاست: گروه میکا فراوان است

۴- نماتوبلاست: کانی‌های گروه آمفیبول Hlb و تره مواکتینولیت و یا سیلیمانیت

۵- چشمی یا آوگن: فقط در گنایس، فلدسپات آلکالن F یا Plg چشمی است

۶- وب یا شبکه‌ای: در سنگ‌های سرپانتینی دیده می شود

۷- کاتاکلاستیک و میلونیتی: در سنگ‌های گسل خورده (کاتاکلاستیک: خردشدگی کم؛ میلونیتی: خردشدگی زیاد)

۸- موزاییکی: بافت استثنائی گرانوبلاست است که در مرمر و کوارتزیت دیده می شود

۹- حلزونی یا هلستیکی: رشد مواد کربن دار در گارنت

۱۰- فیلیتی: سنگی دانه‌ریز و دارای دگرگونی ضعیف (در فیلیت و اسلیت)

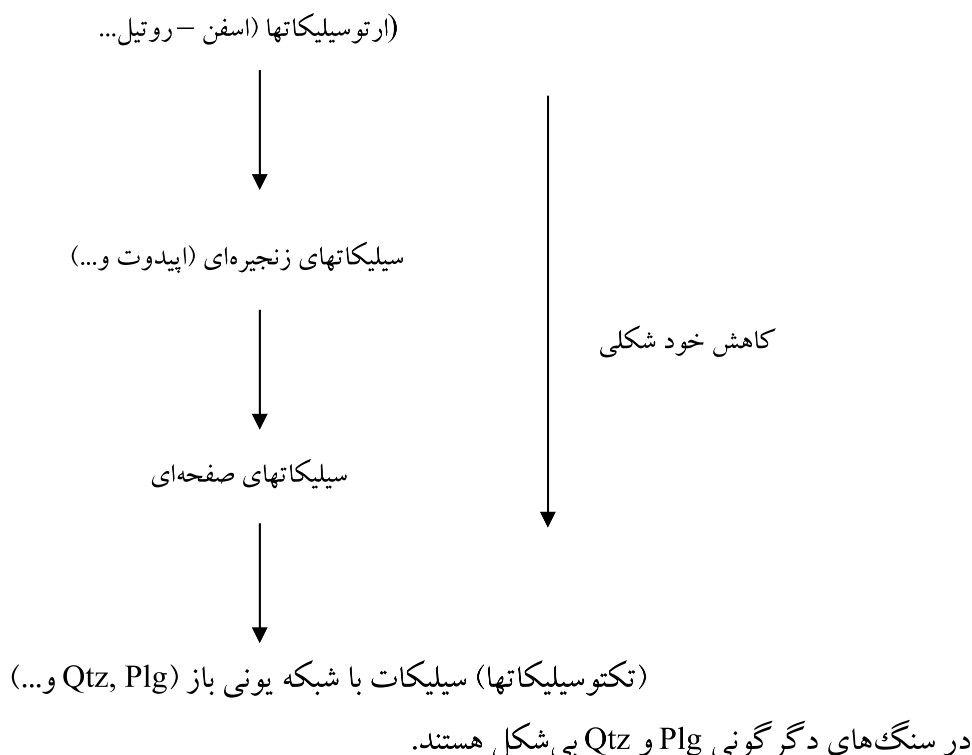
نکات:

فابریک درهم‌رفته یا مضرسی: متشکل از دانه‌های مساوی و عدسی با مرز مضرسی.

بافت ساروجی یا مورتار: نوعی بافت میلونیتی که به علت خردشدگی ناقص، سنگ دارای دانه‌های ریز و درشت می باشد.

سری کریستالوبلاستی:

معرف درجه خود شکلی کانی‌های یک سنگ دگرگونی است.



در سنگ‌های دگرگونی Plg و Qtz بی‌شکل هستند.

نکته‌ای درباره ترکیب شیمیایی:

- ✓ سنگ‌های سرشار از رس (Al) دگرگونی پلیتی (حاوی کردیریت و آندالوزیت)
- ✓ سنگ‌های کربناته رس دار یا کوارتز ← سنگ‌های کالک سیلیکات
- ✓ سنگ‌های آذرین بازیک یا رسوبات (Ca, Mg, Fe ↑) ← سنگ‌های دگرگونی مافیک.

نشانه‌های غیر آذرین بودن سنگ اولیه:

- ✓ وجود کانی‌های استروتید، دیستن، آندالوزیت، سیلیمانیت و ولاستونیت یا
- ✓ اگر کوارتز ۵۰٪ <، موسکوویت ۲۵٪ <، گرونای کلسیم‌دار ۲۵٪ <، کلسیت ۲۵٪<، کائولینیت، مونتموریونیت، پیروفیلیت ۲۵٪ <.
- ✓ نسبت Fe/mg

Mg: سنگ سفید (منشأ غیر آذرین)

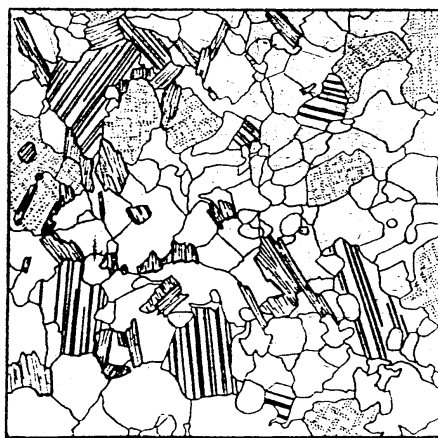
Fe: سنگ تیره (منشأ آذرین)

توجه:

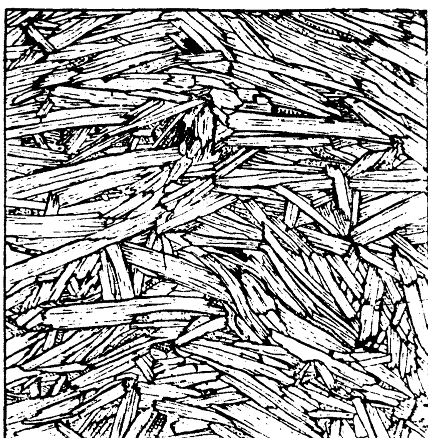
الف) بافت نماتوبلاست؛ سوزنی ($L\rangle I = S$)

ب) بافت لپیدوبلاست؛ صفحه‌ای ($L = I\rangle S$)

تصاویر بافت‌های دگرگونی:



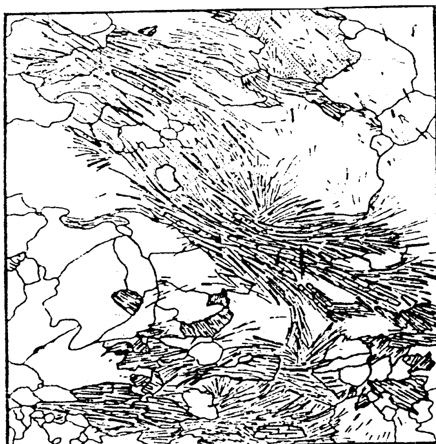
بافت گرانوبلاستیک در گنیس بیوتیت



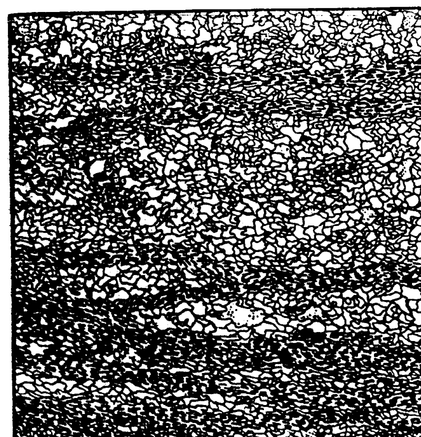
بافت لیپدو بلاستیک



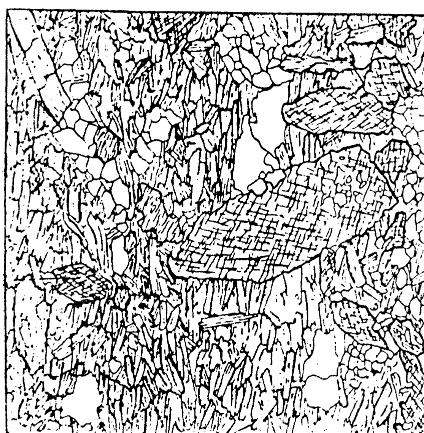
بافت نماتوبلاست



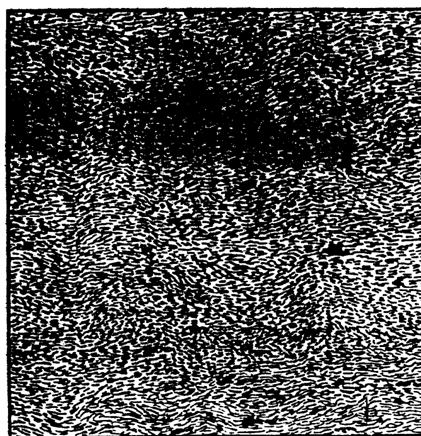
بافت گرانو بلاست و نماتو بلاست

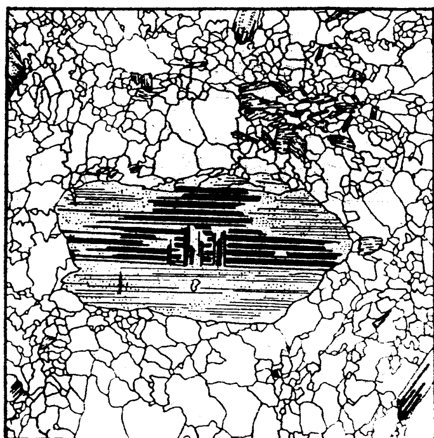


شیست کوارتز و سرسیت دار با بافت گرانوبلاستیک

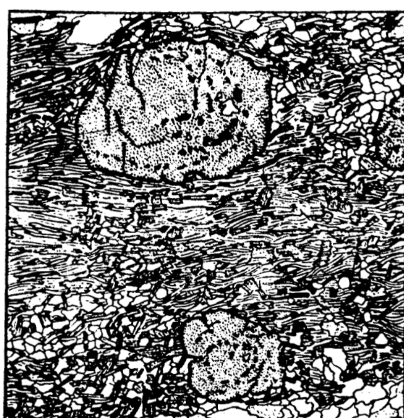


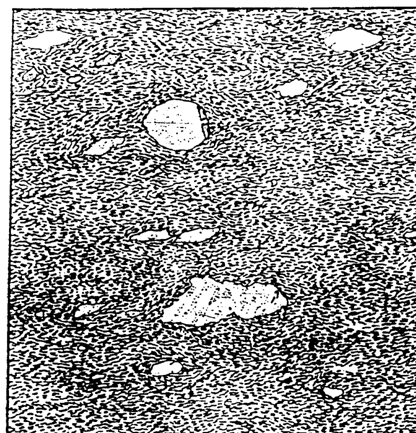
بافت پورفیرو بلاستیک در شیست اکتینوت دار

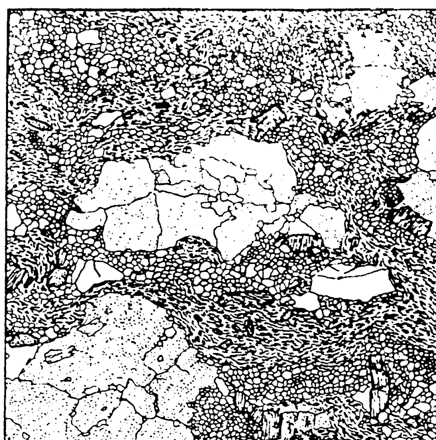

شیست سرسیت دار، بافت فیلیتی


بافت چشمی در گنیس چشمی


مرمرفلو گوپیت دار، بافت موزاییکی


بافت حلزونی (ادخال در گارنت)


میلونیت


گرانیت با بافت کاتاکلاستیک

❖ بررسی سکانس‌های دگرگونی ناحیه ای:

۱) سکانس پلیتی:

درجه دگرگونی	تغییرات ساختی و کانی‌شناسی	نام سنگ
نا دگرگونی	سنگ پلیت تغییر کانی‌شناسی پیدا نمی‌کند، فقط مقداری تورق در سنگ به وجود می‌آید.	اسلیت (سنگ‌لوح) یا آردواز
(ضعیف) اپی زون	کانی‌های کلریت و تالک رشد می‌کنند و سنگ حالت تورق دارد، پولک‌های Mus مشاهده می شود.	فیلیت یا سرسیت کلریت شیست، تالک شیست، شیست براق و فیلاد
مزوزون (متوسط) محدوده شیست	از این مرحله کانی‌های دگرگونی رشد می‌کند، گارنت، استارولیت، آندالوزیت و کیانیت و ایجاد شیستوزیته	انواع شیست
کاتازون منطقه گنایس	حالت نواری یا لیتاژ جانشین شیستوزیته می‌گردد، فلدسپاتها با چشم دیده می‌شوند، سیلیمانیت رشد می‌کند، استارولیت آندالوزیت و کیانیت (دیستن) از بین می‌روند.	گنایس سیلیمانیت دار یا گنایس
الترازون (بسیار قوی) گرانولیت	کلاً فولیاسیون حذف، بیوتیت و سیلیمانیت از بین می‌روند و کانی‌های بی‌آب مثل ارتو کلاز و هیپرستن رشد می‌کنند.	گرانولیت

تفاوت شیست و گنایس:

۱- فولیاسیون در شیست شیستوزیته و فولاسیون در گنایس لیتاژ یا نواری است.

۲- در گنایس فلدسپاتها با چشم قابل رؤیت است.

۳- بلور کوارتز در شیست ها با ذره‌بین دیده می‌شوند.

۴- گنایس در کاتازون و شیست در مزوزون دیده می شود.

۵- شرایط دگرگونی گنایس قوی‌تر از شیست است.

۶- گنایس دارای سیلیمانیت و شیست فاقد آن است.

۲) سکانس آهکی: آهک براثر دگرگونی ناحیه ای مرمر تولید می‌کند

۳) سکانس آهکی – رسی یا مارنی:

۳-۱- منطقه نا دگرگونی: تورق اندک و کربنات‌ها جهت‌یابی می‌گیرند که به این سنگ شیست آهکی یا کالک شیست گویند.

۳-۲- منطقه اپی زون: حاوی کانی سبز کلریت، اپیدوت و آمفیبول که به این سنگ شیست سبز یا گرین شیست می‌گویند.

تعریف پرازینیت: نمونه‌ای از شیست سبز (آلبیت + کلریت $\frac{1}{3}$ + آمفیبول $\frac{1}{3}$ + اپیدوت $\frac{1}{3}$).

۳-۳- منطقه مزون: حاوی آلبیت + اپیدوت و Hlb که سنگ آمفیبولیت تشکیل می شود.

۳-۴- منطقه کاتازون تا الترازون: از دگرگونی مارن سنگ‌های پیروکسنیت (دیوپسید و ولاستونیت) به وجود می‌آید.

٤) سکانس سنگ‌های آذرین خروجی (ریولیت ← اسیدی، بازالت ← بازی).

۴-۱- دگرگونی ریولیت یا سنگ‌های خروجی اسیدی:

۴-۱-۱- دگرگونی ضعیف (اپی زون): کانی‌ها فقط خرد می‌شوند و به میلونیت تبدیل می‌گردند.

۴-۱-۲- دگرگونی متوسط (مزوزون): گنایس

۴-۱-۳- دگرگونی متوسط به بالا (کاتازون و الترازون): گرانولیت

۴-۲- دگرگونی بازالت یا سنگ‌های بازیک خروجی:

مشابه مارنها بوده و به ترتیب شیست سبز، آمفیبولیت و پیروکسنیت از شرایط ضعیف تا قوی در این سنگ‌ها به وجود می‌آید.

۵) سکانس ماسه‌سنگ‌ها:

الف) ماسه‌سنگ خالص: کوارتزیت ← بافت گرانوبلاست و موزاییکی

ب) ماسه‌سنگ ناخالص: آرکوز (ناخالصی فلدسپات) دگرگونی دوباره ←کوارتزیت

❖ بررسی سکانس‌های دگرگونی حرارتی:

۱- سکانس پلیتی:

۱-۱- منطقه شیست های رسی: مقداری تورق حاصل می شود.

۱-۲- منطقه شیست های لکه‌دار: تورق از بین می‌رود، آندالوزیت و کردیریت رشد می‌کنند (معادل این زون در دگرگونی ناحیه ای)

۱-۳- منطقه کورنئن میکادار یا هورنفلس:

تعریف کرنئن: دارای بافت گرانوبلاست، آندالوزیت و کردیریت ← معادل دگرگونی منطقه مزوزون در ناحیه ای.

۱-٤- منطقه کرنئن فلدسپات دار: به توده نفوذی کاملاً نزدیک و فاقد کانی آبدار، Mus از بین رفته و به‌جای آن فلدسپات های پتاسیم (Mic, Orth) جانشین می‌شوند.

Mus + Si ← فلدسپات پتاسیم+ آندالوزیت ← سنگ اولیه کائولن

Mus + Si ← فلدسپات پتاسیم + کردیریت ← سنگ اولیه کلریت

۲) سکانس مارنی یا پلیتی – آهکی:

در دگرگونی حرارتی مارنها به اسکارن و تاکتیت تبدیل می‌شوند.

اسکارن: دانه‌درشت، تشکیل در سیستم باز ← آلوشیمی ← متاسوماتیسم

تاکتیت: دانه‌ریز تر، تشکیل در سیستم بسته ← ایزوشیمی یا توپوشیمی

۳) سکانس سنگ‌های آذرین خروجی:

برخلاف دگرگونی ناحیه ای سنگ‌های خروجی به سنگ خاصی تبدیل نمی‌شوند که شواهد آن عبارت‌اند از: میکرولیت سنگ که در ریولیت و تراکیت، سانیدین و در آندزیت و بازالت، پلاژیوکلاز است.

❖ حالت‌های مختلف جهت یافتگی صفحه‌ای:

لیتاژ: تناوب لایه‌ها با کانی‌شناسی متفاوت که در طی دگرگونی از تفریق موضعی حاصل شده است.

کلیواژ شکستگی یا درزه‌ای: در نتیجه لغزش مکانیکی، سنگ به‌صورت ورقه‌های نازک و ظریف درمی‌آید.

کلیواژ اسلیتی: در سنگ‌های آفانتیک، فاصله بین سطوح تورق کم و دارای جلا.

کلیواژ جریانی یا اسلیتی: تفاوت آن در تورق آسان‌تر در امتداد سطوح کلیواژ (رخ) می باشد. به آن‌ها کلیواژ قبل از تبلور هم می‌گویند.

کلیواژ لغزشی: در امتداد سطح تورق، جابه‌جایی نیز صورت گرفته است.

کلیواژ خطی: در نتیجه آن سنگ به‌صورت بخش‌های قطعات باریک ولی طویل ظاهر می شود (لینه آسیون).

شیستوزیته یا فابریک شیستی: (فانریتیک)

- قرار گرفتن کانی‌های ورقه‌ای (میکا) به‌موازات هم را گویند.
- کلیه موارد بالا به‌غیراز کیلواژ خطی یا لینه آسیون جزو شیستوزیته است.
- کلمه فولیاسیون اغلب معادل شیستوزیته است ولی منظور آن نوعی شیستوزیته جریانی است که در پی افزایش درجه حرارت با تبلور مجدد کانی‌ها همزمان است.

توجه:

۱- میلونیت و کلیواژ اسلیتی: آفانتیک ← دانه‌ریز

۲- شیستوزیته و کلیواژ جریانی: فانریتیک ← دانه‌درشت

- کلیواژ درزه‌ای و اسلیتی بلور لایه نیست.

بلور لایه: انتظام متناوب ورقه‌های کانی در سنگ

فابریک نواری: در نتیجه تفریق دگرگونی و رشد بلورهای دانه‌ای با اختلاف در ترکیب لایه‌های سنگ مادر می باشد.

فابریک گنایس: نوعی فابریک نواری که دارای نوار روشن Fld+Qtz و نوار تیره Mica+Amph+Px است.

فابریک چشمی یا آوگن: فلدسپات، کوارتز، گرونا به‌صورت چشم رشد می‌کنند دارای چشم بلاستی می‌باشند.

فابریک فلیزر: قرار گرفتن توده‌ای عدسی شکل یا لایه اولیه و یا کانی‌های دانه‌ای نسبتاً سالم سنگ در خمیره‌ای از قطعات شدیداً خرد شده را گویند، دارای چشم‌های کلاستی می‌باشند.

بودیناژ یا فابریک سوسیسی: ظاهر شدن ستون‌های موازی با مقاطع عدسی شکل در سنگ. علت تشکیل آن قرار گرفتن طبقات مقاوم در داخل طبقات نا مقاوم تحت کشش می باشد.

لینه آسیون: موازی قرار گرفتن عناصر خطی در سنگ‌های دگرگونی را گویند.

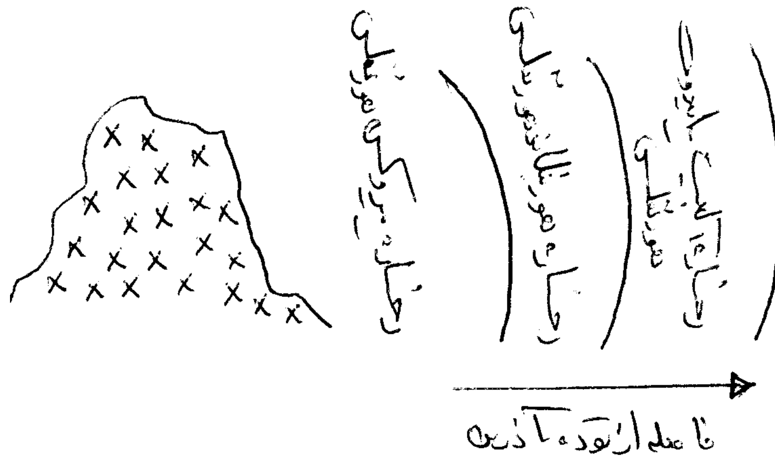
- در کلیواژ درزه‌ای توازی کانی‌ها موجود نبوده، ولی در کلیواژ اسلیتی دیده می شود.

❖ اقسام سنگ‌های دگرگونی:

۱) سنگ‌های دگرگونی مجاورتی یا همبری:

در این دگرگونی سنگ حاصل هورنفلس و در صورت ترکیب مناسب، شیست لکه‌دار است.

هورنفلس: سخت، دانه‌ریز و متراکم، همراه با شکستگی صدفی.



به ترتیب فاصله از توده آذرین:

رخساره پیروکسن هورنفلس – رخساره هورنبلند هورنفلس – رخساره آلبیت، اپیدوت هورنفلس

۞ مشخصات یک دگرگونی مجاورتی:

- ✓ هر چه به توده نزدیک‌تر باشد، دانه‌درشت تر و مقاومت بیشتری دارند. اکثر هورنفلس ها بافت موزاییکی دارند (بافت هورنفلسی یاگرانوبلاستی)
- ✓ بعضی از کانی‌ها مثل آندالوزیت و کردیریت در هورنفلس ها به‌صورت پورفیروبلاست دیده می‌شوند که در این صورت هورنفلسهایی با بافت دوگانه گرانوبلاست و پورفیروبلاست خواهیم داشت.
- ✓ به علت عدم تأثیر جدی فشارهای جهت‌دار بقایای بافت اولیه آن‌ها قابل تشخیص است.
- ✓ شیست یا اسلیت لکه‌دار: اسلیت یا شیستی که در معرض دگرگونی مجاورتی ضعیف قرار بگیرد و با پورفیروبلاستهایی مثل آندالوزیت و کردیریت منظره‌ای گره‌دار یا لکه‌دار به خود بگیرد.
- ✓ شیست های لکه‌دار: رخساره هورنبلند هورنفلس (کائولینیت: آندالوزیت، کلریت: کردیریت)

۞ انواع هورنفلس (برحسب نوع سنگ مادر):

۱) هورنفلس های پلیتی:

- ✓ دارای Al_2O_3 بالا که سبب تبلور آندالوزیت و کردیریت (به‌صورت پورفیروبلاست).
- ✓ تعیین رخساره با توجه به نوع کانی‌ها:

۱- رخساره هورنبلند – هورنفلس: فاقد کلریت، دارای کردیریت به‌صورت پورفیروبلاست، حضور میکا در این رخساره.

۲- رخساره آلبیت – اپیدوت هورنفلس: این رخساره فقط به‌وسیله شواهد صحرایی از رخساره شیست سبز تفکیک می‌گردد.

۳- رخساره پیروکسن هورنفلس: فاقد Mus، دارای (Plg) و فلدسپات.

۴- رخساره سانیدینیت: امکان مشاهده هنگامی که سنگ‌های پلیتی به‌صورت آنکلاو در گدازه بازالتی مشاهده شوند، مقدور است.

- ✓ **بوکیت**: اگر بخشی از آنکلاو مزبور ذوب گردد، سنگی حد واسط آذرین و دگرگونی به وجود می‌آید.
- ✓ در کلیه هورنفلس های پلیتی، بیوتیت قرمز قهوه‌ای دیده می‌شوند و Mus فقط در رخساره هورنبلند هورنفلس مشاهده می‌گردد.
- ✓ **آدینول**: آلبیتی شدن رسوبات رسی در حاشیه یک توده نفوذی سرشار از سدیم Na ↑.
- ✓ **آرژیلیت**: آفانتیک، دارای شکستگی صدفی، بدون جهت یافتگی که در اثر تبلور مجدد مادستون به وجود می‌آید.

۲) هورنفلس های کوارتز و فلدسپاتی:

- ✓ کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم دار از کانی‌های عمده ماسه‌سنگ و سنگ آذرین سیلیس دار (ریولیت، داسیت و...) می باشد. این کانی‌ها در رخساره‌های پیروکسن هورنفلس و هورنبلند هورنفلس پایدار است. پس هورنفلس های حاصل از این سنگ‌ها اساساً بافت موزاییکی گرانوبلاستیک داشته و در آن کوارتز و فلدسپات وجود دارد.
- ✓ کوارتزیت ها:

به‌طورکلی از دگرگونی سنگ‌های رسوبی به وجود می‌آیند. در همه رخساره‌ها به‌غیراز رخساره سانیدینیت پایدار است. بافت آن موزاییکی، حاصل دگرگونی مجاورتی (فاقد فولیاسیون) و دگرگونی ناحیه ای (دارای فولیاسیون).

- ✓ کوارتزیت خالص حالت ماسیو داشته و حالت شیستی در آن‌ها کم دیده می شود.
- ✓ در کوارتزیت:

ناخالصی رسی: تبلور کلریت و Mus

ناخالصی آهک: سیلیکات‌های کلسیم و منیزیوم

- ✓ کوارتزیت:

گارنت و ترمولیت – اکتینولیت: معرف درجه شدید دگرگونی

اپیدوت دار: معرف درجه ضعیف دگرگونی

- ✓ کوارتزیت:

کلسیم‌دار: اسفن (Ti)

بدون کلسیم: روتیل

✓ ناخالصی رسی:

۱- در درجه ضعیف: ایجاد میکا

۲- در درجه قوی: ایجاد گرونا

۳) هورنفلس های آهکی:

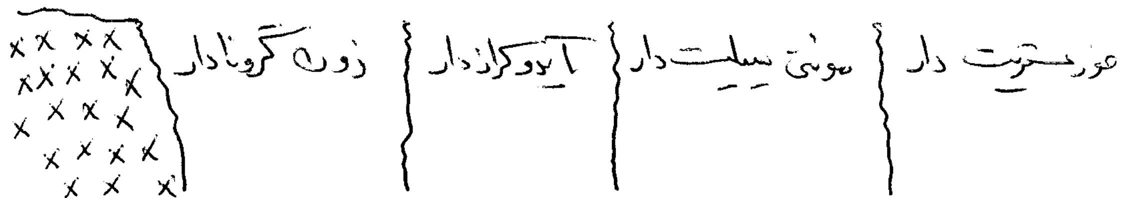
مرمر یا سیپولن: سنگ آهک دگرگون شده دارای فابریک گرانوبلاستی و شاید فولیاسیون

٤) هورنفلس کالک سیلیکات یا اسکارن:

ایجاد بر اثر دگرگونی آهک رس دار و مارن

۴-۱- **تاکتیت**: دگرگونی مجاورتی و متاسوماتیسم سنگ‌های کربناته، بافت آن دانه‌درشت و موزاییکی، حاوی گرونا، Px، اپیدوت، ولاستونیت.

۴-۲- **اسکارن**: متاسوماتیسم حاصل از آهک، شامل آهن سه‌ظرفیتی و سیلیکات Mg دار، در محل تماس توده نفوذی گرم با سنگ آهک مجاور به وجود می‌آیند.



✓ با توجه به ترکیب سنگ‌های آهکی اسکارن منیزیوم دار که سنگ آهک دولومیت است. اسکارن آهکی که سنگ مجاور از نوع کربنات کلسیم است.

✓ **گرایزن**: مجموعه گرانوبلاستی از کوارتز و مسکوویت (لپیدولیت) که از متاسوماتیسم گرانیت‌ها به وجود می‌آید (حاوی فلوئورین بالا)

✓ **توجه**: هورنفلس پگماتیتی = کالک سیلیکاته ها = اسکارن = نهشته پیرومتاسوماتیک.

۵) هورنفلس های بازیک:

چنانچه سنگ بازیک در معرض دگرگونی شدید قرار گیرد، دارای بافت موزاییکی، لابرادور، دیوپسید هیپرستن می شود.

❖ سنگ‌های دگرگونی دینامیکی (حرکتی = پویا = کاتاکلاستیک)

در نام‌گذاری آن‌ها فابریک دارای اهمیت بالایی می باشد.

۱- **برش گسلی**: قطعات درشت درزمینه [۴] ای از ذرات ریزتر.

۲- **میلونیت:**

الف) **پروتومیلونیت:** دارای پورفیروکلاستهای زیاد

ب) **الترامیلونیت:** دارای پورفیروکلاستهای اندک یا فاقد آن

۳- **کاتاکلازیت:** دارای اختصاصات دگرشکلی کاتا کلاستیک اند، ولی فاقد ریزدانگی میلونیت ها می‌باشند.

- ✓ **پزدوتاکی لیت:** میلونیت هایی که خردشدگی بسیار شدید دارند و ظاهری شیشه مانند و تیره دارد.
- ✓ **بافت ساروجی یا مورتار:** کوارتز دانه‌درشت، بین آن خرد شده و در بعضی جاها رشد کرده است.
- ✓ **پروتوژن یا پروتوژین:** سنگی گرانیتی مخصوص مناطق آلپی و دارای ساخت گنیسی.
- ✓ **گنیس چشمی:** هنگامی‌که فیلیت، اسلیت و شیست تحت دگرگونی حرکتی قرار گیرند، سنگی خرد شده بنام فیلونیت یا اسلیت تکتونیکی یا هارت شیفر به وجود می‌آید.
- ✓ **فلیزر گابرو یا فلیزر گرانیت:** قطعاتی از کانی‌های اصلی یا دست‌نخورده گابرو گرانیت که درزمینه [۴] ای از مواد خرده شده و سائیده شده قرارگرفته و سنگ حالت جریان یافته دارد.
- ✓ **سمی شیست یا نیمه شیست:** کاتاکلازیتی که از گریوک ها و ماسه‌سنگ و توف به وجود آید و ظاهری مابین سنگ اصلی و شیست داشته باشد (دارای Qtz و F با حاشیه خرد شده و خاموشی موجی).

❖ سنگ‌های دگرگونی اصابتی یا ضربه‌ای (شهاب‌سنگ‌ها):

۱- **سوئویت:** قطعات شیشه آن کم است و بیشتر قطعات خرده‌سنگی دارند. تشکیل در نتیجه برخورد و دگرگونی ضربه‌ای، بخش ذوب‌شده سیمان را تشکیل و بخش ذوب نشده را به هم متصل می‌کند.

۲- **ایمپکتیت:** قطعات شیشه آن زیاد است و کمتر قطعات خرده‌سنگی دارند.

توجه:

در کاتاکلاستیک: قطعات خرد شده کامل

در کاتاکلازیت: قطعات دانه‌ای

میلونیت واقعی، الترامیلونیت می باشد.

❖ سنگ‌های دگرگونی ناحیه ای:

درجه دگرگونی ناحیه ای ضعیف: رخساره شیست سبز و آمفیبولیت

درجه دگرگونی ناحیه ای شدید: رخساره آمفیبولیت، گرانولیت و اکلوژیت

۱) **اسلیت:**

دانه‌ریز و عموماً از منشأ رسوبات پلیتی (کانی اصلی Mus، Col، Qtz)

ناخالصی اسلیت	رنگ اسلیت

آهن دو ظرفیتی	سبز
آهن سه‌ظرفیتی	قرمز و ارغوانی
پیریت	سیاه
مواد آلی	سیاه

- ✓ دگرشکلی پیش از تبلور: کلیواژ اسلیتی و جریانی
- ✓ دگرشکلی بعد از تبلور: کلیواژ شکستگی یا درزه‌ای

- ✓ **آردواز:** معادل فرانسوی اسلیت، معادل فارسی آن سنگ‌لوح، دانه‌ریز و دارای شیستوزیته که از تغییر شکل شیلهای سیلتی در درجات دگرگونی ضعیف به وجود می‌آید.
- ✓ **سمی شیست:** شیست های آردوازیه که نوعی آردواز با شیستوزیته بسیار ظریف است، از نظر دگرگونی بین سنگ‌های پلیتی (دگرگون نشده) و اسلیت قرار می‌گیرند.

۲) فیلیت:

دانه‌درشت تر از اسلیت ها، حاوی سرسیت، کوارتز و کلریت.

فیلاد (فرانسوی): شیست دگرگون شده سرشار از میکا.

فیلیت گرافیتی: حاصل دگرگونی شیلهای زغال دار می باشد.

۳) شیست ها:

سنگ دگرگونی فولیاسیون دار که کانی‌های آن با چشم قابل تشخیص باشد.

انواع شیست ها:

۱- میکا شیست: دگرگونی رسوبات رسی

۲- کالک شیست: دگرگونی کربنات‌ها

۳- شیست سبز: سنگ‌های بازیک و نیمه بازیک در حرارت کم

۴- شیست منیزیوم دار: دگرگونی سنگ‌های اولترابازیک (آمفیبول آن عمدتاً تره مواکتینولیت)

۵- شیست گلاکوفان دار: بیشتر با توده‌های نفوذی سنگ‌های سرپانتیتی همراه هستند

۶- شیست آبی: از دگرگونی سنگ‌هایی که با گودال اقیانوسی در ارتباط‌اند دیده می شود

نکات:

- حضور استروتید معرف آهن زیاد در محیط است.
- کانی‌های غیر استرسی: کردیریت، آندالوزیت
- کانی استرسی: استروتید، گرونا
- **پرازینیت:** نوعی شیست سبز دارای اکتینوت یا هورنبلند سبز، کلریت و اپیدوت با نسبت تقریباً مساوی و تقریباً فاقد کوارتز.
- کانی سرپانتین تمام شیستهای منیزیوم دار از نوع آنتی گوریت است.
- آمفیبول عمده شیستهای منیزیوم دار آکتینوت سبز کم رنگ یا تره مولیت بی‌رنگ است.

٤- آمفیبولیت ها (Hlb + Plg)

از دگرگونی سنگ‌های آذرین بازیک در حد رخساره شیست سبز، گرینستون یا سنگ سبز به وجود می‌آید که سنگی آفانتیک است.

✓ آمفیبولیت از منشأ:

۱- سنگ‌های آذرین بازیک: Hlb = Plg

۲- سنگ‌های کربناته ناخالص: Hlb > Plg

۳- سنگ‌های الترابازیک: فاقد Plg می باشد

✓ **اپی دیوریت**: آمفیبول از منشأ گابرو یا دیاباز، به‌شرط آنکه ساخت درونی آن چندان تغییر نیافته و فولیاسیون آن ضعیف باشد.

✓ **آمفیبولیت شیستی**: سنگی دگرگونی دارای Plg, Hlb و دارای فولیاسیون ظریف.

٥) گنیس ها:

✓ سنگ‌های دگرگونی فلدسپات دار، دارای فولیاسیون، توجه داشته باشید که در هر رخساره که فلدسپات در آن پایدار باشد، گنیس به وجود می‌آید.

✓ تقسیم‌بندی گنایس ها با توجه به دانه‌بندی و ترکیب کانی‌شناسی:

۱- هموژن: پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت یکنواخت دارد.

۲- هتروژن: پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت یکنواخت ندارد.

✓ حضور فلدسپات با Mus درگنایس دلیل متاسوماتوز است.

✓ **انواع گنیس:**

۱- گنایس کرندون دار: از دگرگونی سنگ‌های بوکسیتی یا لاتریتی بوجود می‌آیند.

۲- گنایس دیستن دار: فشار بالا و حرارت کم نسبت به گنایس سیلیمانیت دار.

۳- گنایس کردیریت دار: معرف درجه شدید دگرگونی سنگ‌های رسی غنی از کلریت و مونت موریونیت است و غالباً همراه سیلیمانیت است.

۴- گنایس گرونادار: حاوی آلماندن و پیروپ Mg دار

۵- گنایس گرافیتی: حاوی پیریت

۶- گنایس پیروکسن دار: دگرگونی سنگ‌های آذرین بازیک در رخساره گرانولیت که حاوی کانی‌های بی‌آب بوده و به آن گرانولیت بازیک هم می‌گویند.

٦) گرانولیت ها:

گرانولیت سنگی حاوی کانی‌های بی‌آب، فاقد فولیاسیون و دارای منشأ پلیتی است.

✓ **گرانوفلس**: سنگ‌های توده‌ای شکل با فابریک گرانوبلاستی.

✓ **گرانولیت بازیک**: گنیسی حاوی پیروکسن و کانی‌های بی‌آب.

✓ **لپی تنیت**: گنایسی فاقد کانی‌های میکایی و فقیر از Fe و Mg.
✓ به انواع دانه‌ریز لپی تنیت، **هالفلینتا** گویند.
✓ **گرانولیت گنایس پیروکسن دار**: معادل آذرین بازیک، با کانی بی‌آب
✓ **گرانولیت گنایس شارنوکیتی**: معادل آذرین اسیدی، با کانی آبدار

۷) شارنوکیت یا چارنوکیت:

گرانیت هیپرستن دار، در حد رخساره گرانولیت (حرارت و فشار زیاد)

✓ **سری شارنوکیتی**: سنگ‌های دارای ترکیب گرانیت تا گرانودیوریت، دارای بافت گرانوبلاستی و کانی‌های Fe و Mg دار بی‌آب (Opx + Cpx)
✓ **توجه**: آندربیت ← چنانچه $P\lg\rangle Fld(K)$
✓ رشته‌های موئی روتیل در بلور کوارتز از مشخصات شارنوکیت می باشد.

۸) اکلوژیت:

✓ سنگی به‌صورت آنکلاو در کیمبر لیت یا بازالتها
✓ شامل: گارنت پیروپ + پیروکسن اومفاسیت + دیوپسید ± روتیل
✓ حاشیه کلیفیتی: حاشیه هم رشدی از Hlb و Plg که در اکلوژیت در اثر دگرگونی قهقرایی بوجود می‌آید.
✓ سری شارنوکیتی:

۱- فلدسپات پتاسیم = شارنوکیت F (k) > Plg

۲- فلدسپات سدیم = آندربیت Plg > F (k).

❖ سنگ‌های مربوط به دگرگونی زیر کف اقیانوسی:

✓ رخساره پرهنیت – پامپلی ئیت در این منطقه اصلاً وجود ندارد.
✓ وجود اسمکتیت به‌جای خمیره شیشه‌ای در بازالت مشخص‌کننده ضعیف‌ترین درجه دگرگونی است.
✓ در دگرگونی درجه ضعیف به‌جای اسمکتیت، کوارتز و کلریت داریم.
✓ در دگرگونی درجه متوسط هورنبلند جای آکتینوت را می گیرد، کلریت محو می شود + دیوپسید (Cpx).
✓ متابازالت آفانتیک: دانه‌ها قابل تشخیص نیست ← گرینستون
✓ متابازالت فانریتیک: دانه‌ها قابل تشخیص است ← آمفیبولیت
✓ **اسپیلیت**: یک گرینستون دارای بافت بازالتی با کانی‌های درجه دگرگونی ضعیف و دارای آثاری از پیروکسن سنگ اولیه است.
✓ **سرپانتینیت** ها: سنگ‌های مجموعه افیولیتی (پریدوتیت، دونیت، هارزبورژیت) با درجات متفاوت بر اثر پدیده سرپانتینیتی شدن با درجات متفاوت به سرپانتینیت تبدیل می شود.

✓ کانی سرپانتینیت از سه کانی بنام آنتیگوریت، لیزاردیت و کریزوتیل ساخته شده که نسبت به هم از نظر شیمیایی و ترکیب ساختمانی متفاوت‌اند (دوکانی اول ورقه‌ای و سومی رشته‌ای است).
✓ سرپانتینیت حاوی بروسیت (اگر Si کم باشد) و تالک (اگر Si زیاد باشد).
✓ **رودنگیت** یا **رودنژیت**: نوعی متاسوماتیسم کلسیک در نتیجه تأثیر سیالات سرشار از کلسیم بر سنگ‌های گابرویی یا دیابازی است.

❖ سنگ‌های دگرگونی هیدروترمالی:

۱- **آلبیتیت**: ناشی از متاسوماتیک محلول‌های پس‌مانده Na دار.
۲- **آدینول**: نفوذ محلول هیدروترمال Na دار در رسوبات رسی که سنگی سرشار از آلبیت می‌سازد.
۳- **اپیدوتیت** یا اپیدوزیت: حاوی اپیدوت و بافت افیتی و از دگرگونی بازالتها و گابروها.
۴- **پروپیلیتی شدن**: در حد رخساره شیست سبز معمولاً از دگرسانی آندزیتها بوجود می‌آید.
۵- **سرسیتی شدن**: خروج عناصر Mg, Ca, Na مربوط به حرارت کم.
۶- **آرژیلی شدن**: در محیط اسیدی، عناصر آلکالی سیلیکات‌ها مانند Ca, k, Na فلدسپاتها از محیط خارج‌شده و به‌جای آن کانی رسی بوجود می‌آید.
۷- **دگرسانی پتاسیک**: در مجاورت توده‌ها، در اثر دخالت محلول‌های پتاسیم دار، بعضی از کانی‌ها به ارتوز تبدیل می‌شوند.

❖ سنگ‌های درجات دگرگونی بسیار شدید:

میگماتیت:

آناتکسی: معرف درجه شدید دگرگونی می باشد

ذوب آناتکسی: ماده حاصل از ذوب بر جای بماند: میگماتیت

ماده حاصل از ذوب جابه‌جا شود: گرانیت پالین ژنتیک

۱- بخش گرانیتی (روشن): منقول یا مجموعه روشن یا لوکوسام

۲- بخش گنایسی (تیره): رستیت یا باقیمانده یا ملانوسام یا پالئوسام

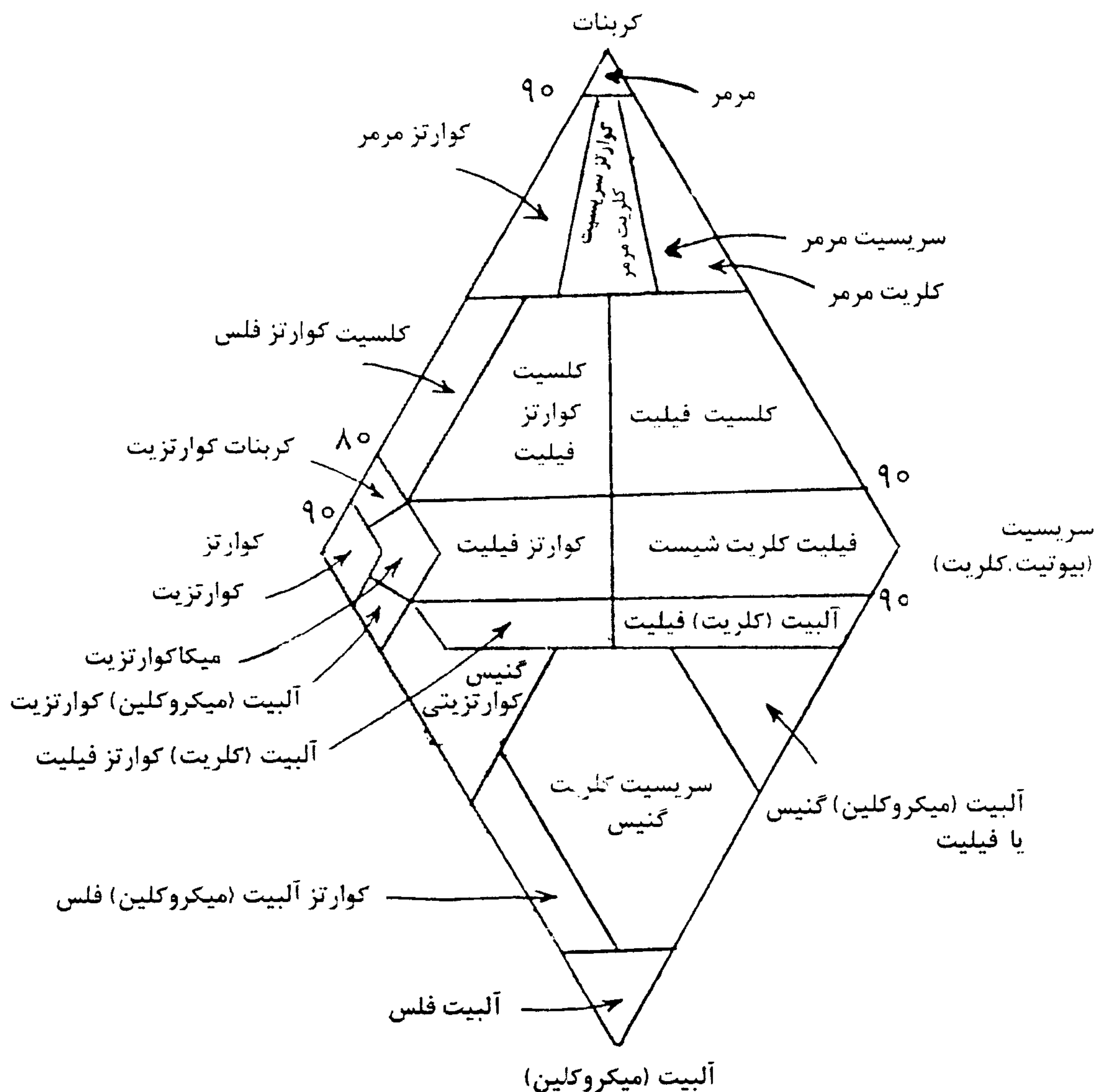
انواع میگماتیت:

۱- **آگماتیک**: دارای ساخت برشی
۲- **فلبیتی**: دارای رگه
۳- **نبولیتی**: حالت شبح و ابر مانند
۴- **شلیرن**: دارای کانی‌های دیرگداز با چین‌های متعدد
۵- **افتالمیتی**: پر از اشکال بادامی و چشمی
۶- **امبرشیست** یا امبرکیت: نوعی میگماتیت با ساخت چشمی است.

تعریف متاسوماتیسم:

هر نوع جانشینی ماده در سنگ که با تغییر ترکیب شیمیایی همراه بوده و به‌موجب آن کانی‌های قدیمی به حالت محلول از محیط خارج و به‌جای آن کانی‌های جدیدی بوجود می‌آیند. این دو عمل به قسمی همزمان انجام می شود که در طی آن حالت جامد سنگ پیوسته محفوظ می‌ماند.

طبقه‌بندی سنگ‌های دگرگونی درجه حرارت پایین (وینکلر، ۱۹۷۹):



طبقه‌بندی سنگ‌های دگرگونی درجه حرارت بالا:

جدول رده‌بندی سنگ‌های دگرگونی بر اساس نوع سنگ مادر، کانی‌های اساسی سازنده و اندازه دانه‌های متشکله:

نوع سنگ اولیه	کانی های سازنده اصلی	نام سنگ			
		دانه ریز ۰/۱ > میلیمتر	دانه متوسط بین ۰/۱تا ۱ میلیمتر	دانه درشت بزرگتراز یک میلیمتر	
				یکنواخت	نواری
شیل یا سنگهای پلیتی	فیلوسیلیکات، کوارتز	اسلیت	فیلیت	شیست	گنیس
ماسه سنگ، سنگهای پسامیتی	کوارتز	کوارتزیت	کوارتزیت	کوارتزیت	کوارتزیت نواری گنیس کوارتزیتی
آهک	کلسیت، دولومیت	مرمر	مرمر	مرمر	مرمر نواری
مارن	فیلوسیلیکات کلسیت، دولومیت	اسلیت آهکی	فیلیت آهکی	کالک شیست	گنیس آهکی
شیل ماسه ای، سنگهای نیمه پلیتی	کوارتز، فیلوسیلیکات	اسلیت کوارتزی کوارتزیت متورق	فیلیت نیمه پلیتی[1]	شیست نیمه‌پلیتی[2]	گنیس
بازالت، گابرو	آمفیبول، پلاژیوکلاز فلدسپات	شیست سبز سنگ سبز[3]	آمفیبولیت	آمفیبولیت	گنیس هورنبلاند گنیس پیروکسن
ریولیت، گرانیت	فلدسپات پتاسیم کوارتز فیلوسیلیکات	هالفلینتا[4]	گنیس گرانیتی	گنیس گرانیتی	گنیس گرانیتی
دونیت، پیروکسنیت پریدوتیت	سرپانتین، تالک آمفیبول منیزیوم دار	سرپانتینیت	تالک شیست سنگ صابون[5] سرپانتینیت	تالک شیست	گنیس اولترا- مافیک

1.Semi- pelitic phyllite 2. Semi- pelitic schist 3. Greenstone 4 Halleflinta

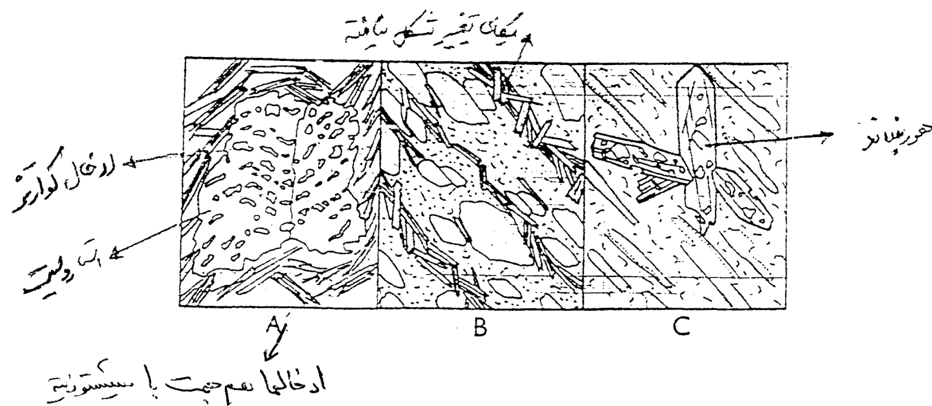
5. Soapstone

ارتباط دگرگونی با تکتونیک (شواهد)

۱- اثر فشار و حرکت همزمان با دگرگونی: وجود بافت حلزونی و ادخال‌های موجود در برخی از کانی‌ها (Ab) هم‌جهت با شیستوزیته سنگ.

۲- اثر فشار و حرکات بعد از تبلور مجدد یا دگرگونی: وجود شکستگی در کیانیت، حالت دوار در پیروکسن ها. توجه داشته باشید که جهت یافتگی ادخال‌های موجود در برخی از کانی‌ها مانند استارولیت برخلاف جهت یافتگی شیستوزیته سنگ است.

۳- اثر فشار و حرکات قبل از دگرگونی: ادخال‌های موجود در استارولیت هم‌جهت با شیستوزیته است ولی کانی استارولیت شیستوزیته را قطع می‌کند. میکاها جهت یافتگی خاصی ندارند، کانی‌های غیر دگرگونی مثل Hlb همانند میکاها شیستوزیته سنگ را در جهات مختلف قطع می‌کند.



نگاهی به نکات سنگ‌شناسی دگرگونی:

واکنش‌های دگرگونی معمولاً به دو شکل دیده می‌شوند:

۱- واکنش‌های دانه- دانه

همان واکنش بین کانی‌های سنگ‌ساز است که این فرایندها بیشتر سبب تغییر ساختمان و در بعضی موارد باعث تغییرات شیمیایی می‌شوند.

۲- واکنش سیال - دانه

یا فرایندهای بین کانی‌ها و سیالات اطراف آن‌ها که بیشتر، تغییرات شیمیایی و به‌ندرت تغییرات ساختمانی دگرگونی را در کنترل دارد.

در اثر فرایند دگرگونی پیوند میانی بعضی از اتم‌های موجود در کانی‌ها شکسته می شود و اتم‌ها آرایش جدید می‌یابند؛ به‌عبارت‌دیگر در کانی‌های ناپایدار پیوند میان بعضی از اتم‌ها شکسته می‌شود. یون‌های آزادشده به نقاط دیگری از کانی رفته و یا با کانی‌های دیگر پیوند می‌خورند و در نتیجه ممکن است کانی‌های جدیدی بوجود آیند؛ بنابراین در سنگ‌ها ممکن است در اثر فرایندهای شیمیایی، کانی‌های جدید جایگزین کانی‌های اولیه شود و ممکن است آب و گازکربنیک نیز آزاد گردد. در اثر عملکرد دگرگونی تمام پیوندها قطع نمی‌شود. درصورتی‌که پیوند تمام اتم‌ها در کانی‌ها شکسته شود، سنگ ذوب می‌گردد.

ازجمله تغییرات فابریکی Fabric changes یا ساختمانی دگرگونی می‌توان به واکنش زیر اشاره کرد:

Shale شیل ---------- > اسلیت (slate)

در تبدیل شیل به اسلیت بدون انجام تغییرات کانی‌شناسی، یک تغییر ساختمانی روی داده است بدین‌صورت که کانی‌های رسی که در شیل به‌صورت اتفاقی پراکنده شده و لامیناسیون را به وجود آورده‌اند در اثر دگرگونی، موازی هم قرار گرفته و تشکیل رخ اسلیتی را داده‌اند.

از تغییرات کانی‌شناسی Mineralogic changes دگرگونی که ممکن است تغییرات فابریکی را به دنبال نداشته باشد، می‌توان به واکنش زیر اشاره کرد:

مسکویت<---------- سریسیت

تبدیل شیست به گنایس از جمله مرکبCompound changes یا هم زمانی کانی‌شناسی و ساختمان دگرگونی است:

گنیس<---------- شیست

تبدیل کانی‌های صفحه‌ای شیست به کانی‌های دانه‌ای گنیس از جمله تغییرات کانی‌شناسی واکنش فوق است (مثل تبدیل مسکوویت به فلدسپار پتاسیم) نتیجه انجام این‌گونه واکنش‌ها از نظر ساختمانی، تبدیل شیستوزیته Schistosity به گنیسوزیتهgneissosity خواهد بود.

حدود دگرگونی

اصولاً برای آغاز واکنش‌های دگرگونی، شرایط فیزیکی و محیطی را در نظر می‌گیرند که پیشرفته‌تر از دیاژنز است، این شرایط که به‌عنوان شرایط آغاز دگرگونی معرفی می‌شوند عبارت‌اند از:

- حرارت ۲۰۰-۱۵۰ درجه سلسیوس
- فشار ۰/۵-۱/۵ کیلو بار
- عمق ۵- ۲ کیلومتر

البته در مناطقی که گردایان ژئوترمال بالاست این عمق به حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری می‌رسد. واضح است که شرایط فوق جهت تمایز دگرگونی دفنی یا ناحیه‌ای از دیاژنز مطرح شده است.

در طی عمل دیاژنز افزایش عمق و به دنبال آن افزایش شرایط فیزیکی محیط (P,T) باعث انجام واکنش‌های آبدهی Dehydration، متراکم شدن Compaction، سیمانی‌شدنCementation و حتی تبلور مجددRecrystalliation آن‌ها می‌شود که تمام این فرایندها موجب تغییرات ساختمانی و شیمیایی می‌گردد اما چون این واکنش در شرایطی به‌مراتب پایین‌تر از شرایط دگرگونی به‌صورت علمی انجام شده است، شرایط تشکیل کانی‌های دگرگونی درجه خیلی پایین (معمولاً خانواده زئولیت) به‌صورت تجربی موردبررسی قرار گرفته است.

مرز پایینی دگرگونی Lower Limit of metamorphism

این مرز به‌وسیله ظهور اولین بار کانی‌هایی که معمولاً جزء کانی‌های دیاژنتیک (Diagenetic minerals) نیستند مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال کاریت یا اپیدوت در سنگ‌های مافیک یا مسکوویت در سنگ‌های رسی می‌توانند معرف آغاز واکنش‌های دگرگونی باشند.

از کانی‌های شاخص دیگر می‌توان به کارفولیت آهن و منیزیم دار، ایلیت (مرز دیاژنز و دگرگونی)، لائوسونیت ((Lawsonite، آلبیت، پاراگونیت، پرهنیت، پومپلی ئیت یا استیلپنوملان

(Heulandite) هلندیت $\xrightarrow[p<3kbar]{190-200}$ laumntite لامونتیت + کوارتز + H_2O

هلندیت $\xrightarrow[p<3kbar]{190-200}$ لائوسونیت

آب + آلبیت <-----------کوارتز + آنالسیم

همچنان که در بالا اشاره شد یکی از شاخص‌های شروع دگرگونی تبلور ایلیت است که غالباً به‌عنوان مرز دیاژنز و دگرگونی بکار می‌رود. اندازه‌گیری پیشرفت تبلور ایلیت (تحول کریستالوگرافی تدریجی) که از فازهای رسی بوجود می‌آید و فازهای رسی نیز در دیاژنز موجود هستند، شاخص شروع پیشرفت دگرگونی است. این تحول از یک مرحله حد واسط عبور می‌کند که به آن آنشی متامرفیسم Anchimetamorphisme می‌گویند. این مرحله نشانه پایان دیاژنز و یا اولین اثرات دگرگونی به‌حساب می‌آید.

مرز بالایی دگرگونی Upper Limit of Metamorphism

مرز بالایی دگرگونی را باید جایی دانست که عمل (melting) آغاز می‌شود چرا که در تعریف دگرگونی، شرط انجام واکنش‌های دگرگونی در حالت جامد پذیرفته شده است. واضح است که با توجه به اختلاف کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ‌های منشأ مرز نهایی دگرگونی نمی‌تواند یک مرز کاملاً مشخص (Sharp) باشد، بلکه مسلماً عمق آغاز عمل ذوب در سنگ‌ها که به‌صورت ذوب بخشی Partial melting است، متفاوت خواهد بود.

به‌عنوان مثال سنگ‌های رسی در حرارت کمتر از ۶۵۰ درجه سلسیوس شروع به ذوب می‌کنند درحالی‌که بسیاری از سنگ‌های مافیک و نیز سنگ‌های کوارتز و فلدسپات آلومین‌دار در حرارت‌های بالاتر نیز حالت جامد خود را حفظ کرده و در حرارت ۸۰۰ درجه و یا بیشتر شروع به ذوب می‌نماید. شایان‌ذکر است که دمای ذوب تقریباً به فشار، ترکیب سنگ و مقدار آب موجود بستگی دارد.

ذوب بخشی گرانیت در oc ۶۶۰ صورت می‌گیرد = در حضور یک سیال آبدار P=5Kbar

ذوب بخشی سنگ‌های بازالتی oc ۸۰۰ صورت می‌گیرد= در حضور یک سیال آبدار P=5Kbar

در شرایط خشک (بدون آب) ذوب بخشی برای گرانیت oc ۱۰۰۰ و برای بازالت oc۱۱۲۰ است.

تبدیل آندالوزیت ← سیلیمانیت (کاهش حجم)

تبدیل کیانیت ← سیلیمانیت (افزایش حجم)

پورفیروبلاست یا پورفیروبلاستیک: بلورهای درشت در زمینه‌ای ریز

پورفیروکلاست یا پورفیروکلاستیک: بلورهای درشت خرد شده و به هم جوش خرده‌اند

گنیس:

- ارتوگنیس: منشأ آذرین
- پارا گنیس: منشأ رسوبی (ناهمگن‌تر)

۱- آپلیتی: کوارتز + ارتوز

۲- گرانیتی: کوارتز + میکروکلین

۳- گرانودیوریتی: الیگوکلاز یا آندزین + کوارتز

(آنیت) → Fe بیوتیت ← Mg (فلوگوپیت)

(آلماندن) → Fe گرونا ← Mg (پیروپ)

✓ تقسیم‌بندی اپی، مزو، کاتا و الترازون بر اساس عمق (زونئوگرافی) می باشد.

✓ اگر: $pf = pl$ درجه زمین فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار است.

✓ اگر: $pf \rangle pl$ درجه زمین فشاری یا رابطه بین عمق و فشار برقرار نیست.

✓ متاسوماتیسم انتشاری: حرکت به سمت نقاط کم تمرکز (محدود)

✓ متاسوماتیسم تراوشی: نفوذ به اطراف (گسترده)

✓ دگرگونی مرکب پیش‌رونده یا پروگراد: خروج آب

✓ دگرگونی مرکب پس‌رونده یا رتروگراد: وجود آب

✓ رخساره آمفیبولیت یا کردیریت – آمفیبولیت: فشار کم تا متوسط

✓ رخساره آمفیبولیت یا آلماندن – آمفیبولیت: فشار زیاد

✓ حد نهایی دگرگونی با حضور بخار آب: میگماتیت

✓ حد نهایی دگرگونی بدون بخار آب: گرانولیت

✓ سری‌های رخساره‌ای:

۱- آندالوزیت – سیلیمانیت: حرارت بالا (آبوکوما)

۲- دیستن – سیلیمانیت: حد واسط (بارووین)

۳- ژاده ایت – گلاکوفان: فشار بالا

✓ در منطقه دگرگونی:

۱- بخش بالایی: کلیواژ شکستگی

۲- بخش میانی: شیستوزیته یا کلیواژ جریانی

۳- بخش زیرین: فولیاسیون

آمفیبولیت:

۱- از منشأ سنگ بازیک Hlb = Plg

۲- از منشأ کربناته ناخالص Hlb> Plg

۳- از منشأ الترابازیک فاقد Plg

✓ در دگرگونی قهقرایی گارنت تبدیل به ← کلریت

✓ در دگرگونی قهقرایی گابروی هیپرستن دار ← نوریت

✓ عامل اساسی در تعیین زون دگرگونی، ترکیب پلیتی سنگ مادر است.

- ✓ ساخت گلوله برفی در گرونا، رشد پورفیروبلاست همزمان با دگرگونی است.
- ✓ واژه بلاست (پسوند): تغییرات بافت در حین دگرگونی
- ✓ واژه بلاست (پیشوند): نشانه بافت اولیه دگرگونی
- ✓ اسکارن واکنشی: واکنش محلول‌ها با سنگ (کربناته)
- ✓ اسکارنوئید: فقط تحت تأثیر حرارت (ایزوشیمی)
- ✓ فابریک گنایسها: آن ایزوتروپ و غیر همگن
- ✓ فابریک هورن فلس‌ها: ایزوتروپ و غیر همگن
- ✓ توجه:

بافت غربالی ← جانشینی

عدسی کوارتز ← رشد تراوشی

بافت چشمی ← کنکرسیونی

- ✓ دیاگرام ACF ← کالک سیلیکات
- ✓ دیاگرام $A'FK$ ← متاپلیت (رینهارد)
- ✓ دیاگرام AFM ← متابازیت (تامپسون)
- ✓ دیاگرام SCM ← متابازیت
- ✓ فابریک بلاستی: دگرگونی ناحیه ای؛ فابریک فلیرز: دگرگونی کاتاکلاستی
- ✓ جانشینی:

گارنت ← کلریت

آمفیبول ← پیروکسن

موسکوویت ← آندالوزیت، کیانیت (دیستن)

استروئید ← میکا

ارتوز ← لوسیت

آلبیت ← نفلین

- ✓ رخساره گرانولیت: Opx + دارای Plg
- ✓ رخساره اکلوژیت: Cpx + فاقد Plg
- ✓ آمفیبول دمای پایین ← اکتینولیت
- ✓ آمفیبول دمای بالا ← هورنبلند
- ✓ آمفیبول فشار بالا ← گلاکوفان
- ✓ در محیط بسته: کلسیت، دولومیت

- ✓ در محیط باز: ترمولیت، اکتینولیت
- ✓ گرافیت: جلوگیری از افزایش دگرگونی
- ✓ پیروکسن: باعث کاهش فولیاسیون
- ✓ ساخت دیا پلکتیک: دگرگونی یا تغییرات در اثر برخورد جسم متئوریتی
- ✓ ساخت اوتاکسیتیک: ساخت ایگنمبریتی یا جوش‌خورده
- ✓ بافت دیابلاستیک: در این بافت کانی‌ها در یکدیگر داخل شده و یکی، دیگری را سوراخ می‌نماید.
- ✓ بافت نودولوز: کانی‌ها غیرعادی بزرگ، ولی اتورمورف نیستند.
- ✓ بافت گرانیتوئید: در این بافت Plg اغلب اتورمورف بوده و میکروکلین آن را احاطه می‌کند.
- ✓ بافت کرنئن ها: گرانوبلاستیک یا هورن فلسیک
- ✓ رخساره هورنبلند هورنفلس در حرارت کمتر و فشار بیشتر از رخساره پیروکسن هورنفلس تشکیل می شود یعنی:
- ✓ رخساره هورنبلند – هورنفلس: فشار بیشتر – حرارت کمتر
- ✓ رخساره پیروکسن – هورنفلس: فشار کمتر – حرارت بیشتر
- ✓ کرنئن میکادار: منطقه مزوزون
- ✓ کرنئن فلدسپات دار: منطقه کاتازون
- ✓ ظهور Plg نشانه ← رخساره هورنبلند هورنفلس
- ✓ ظهور Cpx نشانه ← رخساره آمفیبولیت
- ✓ در دیاگرام AFM (کوارتز + موسکوویت) یک فاز است.
- ✓ در دیاگرام AFM، Bio خارج دیاگرام است ← K_2O ↑ و فقیر از Al_2O_3
- ✓ بوکیت (رخساره سانیدینیت): Plg + Opx + کردیریت + مولیت + خمیره شیشه‌ای.
- ✓ آبوکوما: آندالوزیت - سیلیمانیت
- ✓ آبوکوما: آندالوزیت - کردیریت
- ✓ معادل‌های تیپ دگرگونی وینکلر:

  حرارتی ← مجاورتی

  تدفینی یا انباشتی ← لاوسونیت – گلاکوفان

  نوع بارو ← دیستن ← سیلیمانیت (فشار بالا) ← به سمت خارج قاره

  نوع آبوکوما ← آندالوزیت – سیلیمانیت (حرارت بالا) ← به سمت داخل قاره
- ✓ ساخت در آذرین: در مقیاس وسیع مطرح است.
- ✓ ساخت در دگرگونی: در مقیاس دستی مطرح است.

نکات سنگ‌شناسی دگرگونی

- ✓ سنگ دگرگونی سنگی است که از تغییر شکل سنگ‌های قبلی در حالت جامد به علت تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی پدید می‌آیند. دگرگونی پاسخ سنگ در مقابل تغییرات محیط است.
- ✓ دگرگونی در حد بین دیاژنز، هوازدگی و ذوب قرار دارد.
- ✓ ظهور میگماتیت حد بین ماگماتیسم و دگرگونی درجات شدید است.
- ✓ شرایط هوازدگی عبارت‌اند از حرارت کمتر از ۱۵۰ درجه و فشار کمتر یا مساوی ۱ کیلو بار.
- ✓ ظهور کانی‌های لومونتیت، لاوسونیت، گلاکوفان و پاراگونیت را شروع دگرگونی می‌دانند که آغاز دگرگونی به ترکیب اولیه سنگ بستگی دارد.
- ✓ پلی مورفیسم یا چندشکلی حالتی است که در آن یک ماده تحت شرایط فیزیکی و شیمیایی متفاوت به بیش از یک شکل متبلور می شود.
- ✓ در دگرگونی شدید اکلوژیت، شارنوکیت (گرانولیت اسیدی) و آمفیبولیت را داریم و حد بالایی دگرگونی میگماتیت و گرانیت است.
- ✓ پایدارترین حالت پلی مورف زمانی است که کمترین انرژی را دارد.
- ✓ حالت متااستیبل حالتی است که طی آن یکی از فرم‌های متبلور در خارج از محدوده پایداری خود ظهور پیدا می‌کند و این به علت شرایط محیط شیمیایی است.
- ✓ پارامورفیسم زمانی است که یک کانی در اثر تغییرات فشار و حرارت بدون آنکه شکل خارجی آن عوض شود به کانی دیگری تبدیل می شود.
- ✓ بر اثر واکنش‌های ناکامل در حالت جامد هاله‌ای از کانی‌های پایدار در اطراف کانی‌های ناپایدار را فرا می‌گیرد.
- ✓ با افزایش فشار کانی‌هایی با حجم کمتر (پیروکسن و اسپینل) و با افزایش حرارت کانی‌هایی با حجم بیشتر (پلاژیوکلازها) تولید می‌شوند.
- ✓ در تعادل دگرگونی تعداد کانی‌های اصلی سنگ محدود می شود.
- ✓ پاراژنز مجموعه‌ای از کانی‌هایی را که در شرایط شیمیایی و ترمودینامیکی مشابه ظاهر می‌شوند را گویند، این کانی‌ها دارای پایداری مشابهی نیز می‌باشند.
- ✓ در تعادل پاراژنزی مرز کانی‌ها مشخص است و کانی‌ها تبلور مجدد پیداکرده‌اند، حالت زونه و جانشینی و تجزیه در کانی‌ها وجود ندارد.

- ✓ در سنگ دگرگونی تمام کانی‌ها همزمان باهم متبلور شده یا تبلور مجدد می‌یابند.
- ✓ دگرگونی بر دو نوع آلو شیمیایی (متاسوماتیسم) که با تغییر ترکیب سنگ و در سیستم باز ایجاد می شود و ایزو شیمیایی (توپوشیمیایی) که بدون تغییر ترکیب سنگ و در سیستم بسته رخ می‌دهد، می باشد.
- ✓ تبدیل شیست به شیست لکه‌دار (حاوی کردیریت) و سپس شیست نودولی میکادار و تبدیل آن به هورنفلس میکادار مثالی از یک دگرگونی توپوشیمیایی است.
- ✓ دگرگونی سنگ بر اثر تأثیر محلول‌های شیمیایی را متاسوماتوز گویند.
- ✓ قانون گلدشمیت بیان می‌کند که تعداد فازهای (کانی‌های) سنگ دگرگونی کمتر و یا مساوی تعداد اکسیدهای سنگ دگرگونی است.
- ✓ فشار بر چهار نوع است: ۱- همه‌جانبه (لیتواستاتیک) که حاصل وزن طبقات فوقانی است (P=d.h.g) ۲-فشار جهت‌دار که چین‌ها و شکستگی‌ها را ایجاد می‌کند و کانی‌های ورقه‌ای را در حالت جهت‌دار قرار می‌دهد. ۳- فشار سیالات که فشار حاصل از سیالات هیدروترمال است و بیشتر در دگرگونی مجاورتی و طی متاسوماتیسم اهمیت پیدا می‌کند ۴- انحلال در اثر فشار که بر اثر فشار جهت‌دار و فشار سیالات رخ می‌دهد.
- ✓ فشار لیتواستاتیک ماده را متراکم کرده و وزن حجمی را زیاد می‌کند، افزایش تراکم و سرعت عبور امواج زلزله و افزایش نقطه ذوب کانی‌ها در اعماق معرف این گفته است.
- ✓ در اعماق زیاد سیالات کمترند و $P_f>P_l$ است.
- ✓ جریان حرارتی در قاره‌ها کمتر از اقیانوس‌هاست .M.O.R دارای جریان حرارتی بیشتر از سایر نقاط است و در گودال‌های اقیانوسی کواترنر حداقل است.
- ✓ دگرگونی استاتیک در اثر فرو رفتن سنگ‌ها در اعماق ایجاد می شود و کانی‌های جدیدی را بوجود می‌آورد.
- ✓ اگر گرما به سنگ رسوبی برسد کانی‌ها تغییر می‌کنند و اگر به سنگ آذرین یا دگرگونی برسد باعث افزایش دمای سنگ می شود.
- ✓ زون‌های دگرگونی که وابسته به عمق است بر سه بخش است:

  ۱- اپی زون (منطقه سطحی) حرارت کم تا متوسط (بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه)، فشار لیتو استاتیک کم و فشار جهت‌دار شدید و دارای آب زیاد است (اسلیت و فیلیت و سریسیت و کلریت شیست)

  ۲- مزوزون (منطقه میانی) حرارت، بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه دارد و فشار لیتواستاتیک و جهت‌دار متوسطی را دارد (شیستها و آمفیبولیت)

  ۳- کاتازون (منطقه عمقی) دارای فشار لیتواستاتیک و حرارت زیاد (۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه) دارد و خردشدگی حداقل دارد (گنیس و گرانولیت و اکلوژیت و آمفیبولیت درجه بالاتر).
- ✓ استرس یا تنش شدت نیروهای داخلی جسم است (P=F/A) و استرین تغییر شکل نسبی حاصل از استرس را گویند.

- دگرشکلی بر سه نوع است الاستیک یا ارتجاعی، پلاستیک (عدم ارتجاع) و شکننده، که بین حالت الاستیک و پلاستیک را «حد الاستیک» و بین حالت پلاستیک و شکننده را «مقاومت نهایی» گویند.
- دگرشکلی لغزشی تغییر شکل ماده بدون تغییر حجم را گویند.
- انواع استرس:۱- کششی که با افزایش حجم همراه است ۲- فشردگی که با کاهش حجم همراه است و ۳- لغزشی که با تغییر شکل همراه است.
- ساخت بودین یا سوسیسی بر اثر استرس کششی ایجاد می‌گردد.
- شکستگی کششی به‌موازات نیروهای وارده ایجاد می شود (مقاومت کمتر).
- با افزایش فشار همه‌جانبه مقاومت شکنندگی سنگ افزایش پیدا می‌کند (شکل‌پذیری و چین‌خوردگی).
- خزش در اثر اعمال فشار همه‌جانبه و تحت یک اختلاف تنش ثابت که باعث می شود جسم به‌طور پیوسته دگرشکلی پلاستیک نشان دهد.
- فشار، حرارت، زمان و میزان یکنواختی سنگ‌ها و محلول‌های درون خلل و فرج از عوامل مؤثر در تغییر شکل سنگ‌ها می‌باشند.
- افزایش حرارت باعث تسریع در تغییر شکل سنگ‌ها می شود (در اعماق کم شکننده و در اعماق زیاد پلاستیک).
- اگر زمان اعمال نیروها کم باشد (تأثیر ناگهانی) در جسم شکنندگی و اگر زمان تأثیر آن زیاد باشد مقاومت سنگ زیاد می‌رود.
- وجود سیالات در خلل و فرج بر فشار همه‌جانبه تأثیر می‌گذارد و گاهی بعضی کانی‌ها حل شده و برخی دیگر جایگزین می‌شوند.
- سنگ‌های یکنواخت در سه جهت فضایی ایزوتروپ عمل کرده و سنگ‌های لایه‌ای آنیزوتروپ اند.
- تغییر شکل شکننده به نوع و ترکیب شیمیایی سنگ و مقاومت آن‌ها بستگی دارد.
- در حالت تعادل برآیند نیروهای جاذبه و دافعه بین اتم‌ها صفر است (کانی متبلور کمترین انرژی را دارد).
- مکانیسم‌های عامل تغییر شکل پلاستیک:

  ۱-لغزش انتقالی (جابجایی اتم‌ها و تغییر شکل خارجی بلور و عدم وجود کانی‌های جدید)

  ۲-لغزش دوقلو یا ماکل (جابجایی نسبی بخشی از ساختمان که به‌صورت مکانیکی صورت می‌گیرد)
- تغییر شکل سنگ بر اثر فشار همه‌جانبه و حرارت می‌تواند باعث: ۱- جهت یافتگی فیزیکی (شکننده) و تشکیل میلونیت (کاتاکلاستیک) ۲-دگرشکلی شیمیایی که باعث تشکیل کانی‌های ورقه‌ای (لپیدوبلاستیک) و یا منشوری (نماتو بلاستیک) می‌شود.
- انتشار یک ماده از محیط پرانرژی به کم انرژی از سه طریق صورت می‌گیرد: ۱- انتشار از خلال شبکه تبلور ۲- انتشار از طریق قشر خارجی دانه‌ها ۳- از طریق سیالات احاطه‌کننده.

- ✓ مکانیسم‌های عامل جهت یافتگی شامل دگرشکلی پلاستیک شبکه تبلور و پیدایش هسته‌های تبلور و رشد دانه‌ها در جهات معین و چرخش کانی‌های جهت‌دار مثل میکا و آمفیبول و انحلال در اثر فشار (انحلال در فشار زیاد و تبلور در فشار کم)، است.
- ✓ با کاهش انرژی محیط بلورها در حالت جامد رشد کرده (رشد کانی‌های جدید و تغییر کانی‌های قدیمی) و به پایداری بیشتر می‌رسند.
- ✓ دما و واکنش‌های شیمیایی و یا تأثیر همزمان آن‌ها از عوامل مؤثر بر رشد بلورهاست.
- ✓ بافت گرانوبلاستیک حالتی است که در آن بلورهای چندضلعی فشرده به هم کنار یکدیگر قرار می‌گیرد و در سنگ‌های تک کانی مثل مرمر و آمفیبولیت و کوارتزیت بیشتر دیده می‌شوند.
- ✓ اگر اختلاف انرژی سطحی در جهات مختلف زیاد باشد، بلورها به‌صورت جهت‌دار رشد می‌کنند (بلورهای ورقه‌ای).
- ✓ با رشد بلورها انرژی سیستم کاهش پیدا می‌کند.
- ✓ مکانیسم‌های رشد کانی‌ها شامل

  ۱-رشد تراوشی (در فضاهای خالی)

  ۲-رشد کنکرسیونی (کنار زدن بلورهای مجاور)

  ۳-رشد جانشینی (جابجایی کانی‌ها).
- ✓ بر اثر رشد تراوشی کانی‌ها (تبلور در فضاهای خالی) ممکن است سنگ ساخت نواری پیدا کند.
- ✓ ساخت چشمی در اثر رشد کنکرسیونی بلورها بوجود می‌آید.
- ✓ برای تشکیل نطفه یک بلور جدید باید محیط فیزیکو شیمیایی مساعد و فوق اشباع باشد.
- ✓ در اثر تبلور کنکرسیونی به‌تدریج با رشد بلور به انرژی آزاد بلور جدید اضافه شده و از انرژی آزاد محیط کم می‌شود تا برابر شوند.
- ✓ رشد جانشینی را می‌توان در سه کانی آندالوزیت-کیانیت-سیلیمانیت دید که در آن هدف کاهش انرژی محیط است.
- ✓ در دگرگونی پیش‌رونده، جانشینی موجب کاهش حجم می‌گردد و در دگرگونی قهقرایی جانشینی موجب افزایش حجم شده و فراوان‌تر است.
- ✓ ساخت غربالی یا پوئی کیلوبلاستیک در اثر رشد جانشینی بلورها بوجود می‌آید که در آندالوزیت و کردیریت و گارنت و بیوتیت و استروتید و آلماندن دیده می شود.
- ✓ رشد پورفیرو بلاستها در یکی از سه حالت زیر رخ می‌دهد:

۱- پست تکتونیک، بعد از حادثه تکتونیکی تشکیل می‌شوند (شیستوزیته زمینه داخلی و خارجی با هم موازی‌اند)

۲-پر تکتونیک، نشانه دو دگرگونی (شیستوزیته داخلی عمود بر خارجی که گاهی با ساخت چشمی همراه است)

۳- سین تکتونیک: همزمان با تکتونیک (آنکلوزیونهای داخلی تاب‌خورده که گاهی با ساخت گلوله برفی همراه است).

- ✓ کواتز و ایلمنیت و گرافیت سازندگان شیستوزیته داخلی هستند.
- ✓ دگرگونی بر دو نوع مجاورتی و ناحیه ای است که مجاورتی محدود بوده و در یک ناحیه خاص بر اثر توده آذرین و یا برخورد سنگ آسمانی ((اصابتی)) رخ می‌دهد و ناحیه ای یا عمومی در منطقه‌ای وسیع عمل کرده و یا به‌صورت دیناموترمال یا تدفینی (انباشتی) رخ می‌دهد.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای در حاشیه صفحات لیتوسفر (دینامیکی) دیده می شود.
- ✓ در مناطق اپی زون دگرگونی کاتاکلاستیک یا مجاورتی و در کاتازون و مزوزون دگرگونی حرارتی یا متاسوماتوز صورت می‌گیرد.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای یک پلی متامورفیسم است (چند بار دگرگونی).
- ✓ ترکیب آتشفشانهای قوسی قاره‌ای آندزیت، داسیت و یا ریولیت (اسیدی) و ترکیب آتشفشانهای قوسی اقیانوسی بازالت و یا آندزیت (بازیک) است.
- ✓ اقسام دگرگونی عبارت‌اند از: اصابتی (ضربه‌ای)، مجاورتی (حرارتی)، دینامیکی (کاتاکلاستیک)، ناحیه ای (دیناموترمال)، انباشتی (تدفینی)، هیدروترمال و زیر کف اقیانوسی.
- ✓ دگرگونی ضربه‌ای ناشی از برخورد متئوریت یا انفجار هسته‌ای زیرزمینی است.
- ✓ فشار و حرارت زیاد ناشی از برخورد متئوریت موجب ایجاد مخروط‌های خردشدگی می‌گردد (در سنگ‌های دانه‌ریز).
- ✓ اگر حجم و وزن و سرعت سنگ آسمانی زیاد باشد موجب ذوب یا تبخیر سنگ می‌گردد.
- ✓ کانی‌های فشار بالا نظیر کوئزیت و استیشوویت در حد بین ذوب و مخروط‌های خردشدگی تشکیل می‌گردد.
- ✓ سوئویت پوششی است از مواد پرتابی در محل اصابت متئوریت و به‌عبارت‌دیگر سنگی است حاصل دگرگونی اصابتی و ذوب بخشی سنگ.
- ✓ دگرگونی مجاورتی در پیرامون توده‌های نفوذی با دامنه محدودی ایجادشده و ایجاد هورنفلس می‌کند که دارای کانی‌های بی‌نظم و ترتیب است.
- ✓ ضخامت هاله دگرگونی در توده نفوذی درونی بیشتر از گدازه بیرونی است.
- ✓ ضخامت هاله دگرگونی در پلت و آهک بیشتر از ماسه‌سنگ است.
- ✓ در مجاورت سنگ‌های پلتی زون‌های دگرگونی دارای هاله منظم هستند و در مجاورت آهک‌ها بی‌نظم هستند.
- ✓ میزان آب و تراوایی سنگ میزبان باضخامت هاله نسبت مستقیم دارد.

- ✓ معمولاً دمای هاله برابر ۶۰٪ دمای توده نفوذی است.
- ✓ حجم توده باضخامت هاله نسبت مستقیم دارد.
- ✓ هرچه عمق توده کمتر باشد، ضخامت هاله کمتر است.
- ✓ دگرگونی دینامیکی (کاتاکلاستیک) معمولاً با گسل‌ها یا رورانذگیها در ارتباط بوده و در اعماق میلونیت و در سطح برش گسلی را می‌سازد.
- ✓ با افزایش عمق بر اثر حرکات شدید سنگ‌ها به ترتیب خرد شدن، تبلور دوباره و ذوب اتفاق می‌افتد.
- ✓ برش گسلی محل مناسبی برای نفوذ آب می باشد که باعث تخریب سنگ‌ها و رسی شدن آن‌ها می‌گردد (ایجاد کوژ گسلی).
- ✓ در سنگ میزبان توده‌ای و مقاوم بر اثر دگرگونی دینامیکی میلونیت (پورفیروکلاستها در خمیره دانه‌ریز) و شیل، اسلیت، شیستها و به‌طورکلی سنگ‌های ورقه‌ای به اسلیت تکتونیکی (فیلونیت) و میلونیت یا فیلونیت به پسودوتاکی لیت تبدیل می‌شوند.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای (دیناموترمال) دارای گسترش زیاد بوده و خاص نوارهای کوهزایی است (حرارت و فشار جهت‌دار) و به‌صورت سین تکتونیک رخ می‌دهند.
- ✓ در دگرگونی ناحیه ای شدید ذوب بخشی هم اتفاق می‌افتد.
- ✓ در اثر دگرگونی ناحیه ای در اعماق کم‌خرد شدگی، چین‌خوردگی و رو راندگی و در اعماق زیاد جابجایی، تبلور مجدد و فابریک‌های آنیزوتروپ ایجاد می‌گردد.
- ✓ هر چه اندازه دانه‌ها درشت‌تر باشد شدت دگرگونی هم بیشتر است.
- ✓ روش بارو، ردیابی و نقشه‌برداری درجات دگرگونی ناحیه ای با استفاده از کانی‌های ردیاب است که منجر به تشخیص زون‌ها می‌شود.
- ✓ از زون کلریت به‌طرف زون‌های بیوتیت، گرونا، استروتید، کیانیت و سیلیمانیت شدت دگرگونی افزایش می‌یابد.
- ✓ دگرگونی ناحیه ای معمولاً دارای وسعت زیاد بوده و سین تکتونیک می باشد، دارای درجات مختلف دگرگونی است و فابریک آنیزوتروپ ایجاد می‌کند.
- ✓ دگرگونی تدفینی ناشی از ضخامت رسوبات یا سنگ‌های آذرین فوقانی است (فشار همه‌جانبه).
- ✓ در دگرگونی تدفینی ساخت اولیه ثابت بوده ولی ترکیب کانی‌شناسی تغییر می‌کند (تبدیل شیشه به آنالسیم).
- ✓ آثار دگرگونی تدفینی در سنگ‌های آذرآواری شیشه دار مدفون‌شده در اعماق بهتر دیده می‌شود.
- ✓ دگرگونی تدفینی یا استاتیک در اثر فشار سیالات و حرارت رخ می‌دهد.
- ✓ در کف اقیانوس‌ها مجاور (.M.O.R ریفت میان اقیانوسی) دگرگونی دیده می شود که ناشی از گرم شدن آب و انحلال گازها و تأثیر بر سنگ‌های مسیر آب است.

✓ اسموکر ستونی از ذرات معلق و بخار آب است که از کف دریا فوران می‌کند.

برداشتی نوین از دگرگونی

دگرگونی

تعریف دگرگونی یا متامورفیسم: تغییر در ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و ساختار سنگ در حالت جامد

چرا؟

تا آن سنگ با محیط فیزیکی و شیمیایی جدید خودسازگاری بهتری پیدا کند.

در تعریف بالا چه عواملی را باید مدنظر قرارداد ۱- کلیه سنگ‌ها (آذرین و رسوبی و دگرگونی) ممکن است دچار این تغییر شوند. ۲- شرایط جدید با شرایط تشکیل اولیه باید متفاوت باشد. ۳- حالت جامد می‌تواند به‌صورت خمیری هم باشد. ۴- تغییرات سنگ، تغییر در بافت و ساخت و تغییر در نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده می‌باشند.

تعریف دگرگونی: پاسخی که هر سنگ در مقابل تغییرات محیط شیمیایی و فیزیکی از خود بروز می‌دهد که این پاسخ به‌صورت تجدید تبلور کانی‌های قدیمی به دانه‌های جدید، پدیدار شدن کانی‌های نوظهور و تخریب بعضی دیگر یا تغییر در بافت و ساخت.

حد دگرگونی

چه فرایندهایی را جز دگرگونی محسوب نمی‌کنند؟

۱- هوازدگی ۲- دگرسانی ثانوی ۳- دیاژنز

شرایط دگرگونی: دما: ۱۵۰^oC فشار: ۱kbr

هوازدگی پدیده‌ای تخریبی است که در شرایط کمتر از این شرایط است و دیاژنز پدیده‌ای غیر تخریبی که در شرایط فیزیکی فوق اتفاق می‌افتد.

خاتمه دگرگونی: دما- فشار- سیالات- درجه‌ی پویایی و میزان شکل‌پذیری سنگ

محل دگرگونی: از گوشته فوقانی

۱- دما: گرمایی که لازم است دمای ماده‌ای را در فشار ثابت به‌اندازه ۱ درجه سانتی‌گراد بالا برد، ظرفیت گرمایی (CP) آن ماده است.

به منحنی تغییرات دما با عمق در زیر سطح بخشی از کره زمین منحنی زمین گروه یا ژئوترم گویند.

دما به طرق مختلف در طی دگرگونی نقش ایفا می‌کند:

۱- تغییر سیستم تبلور در کانی‌های پلی مورف

۲- از بین بردن آب تبلور کانی‌های آبدار

۳- از بین بردن عامل هیدروکسیل کانی‌ها

۴- تغییر ترکیب شیمیایی برخی کانی‌ها

۲- فشار: انواع فشار: ۱- لیتواستاتیک (PL) یا فشار همه‌جانبه ۲- فشار جهت‌دار (pd) یا استرس ۳- فشار سیال (PF)

۳- سیالات: سیالات مهمی مثل بخار آب، CO_2 و O_2 و اسید فلوئوریک، اسیدکلریدریک

آب در محیط‌های دگرگونی یک یا چند منشأ دارد:

۱- آبهای جوی: از شکستگی‌های عمیق به داخل زمین نفوذ می‌کنند
۲- آبهای محبوس شده: در بین رسوبات
۳- آبهای آزاد شده: از شبکه کانیها هنگام واپاشی و آب‌زدایی آن‌ها
۴- آبهای ماگمایی یا فوق بحرانی: در اثر افت فشار ماگماها به علت دمای بالا در دگرگونی سنگ‌ها اثر زیادی دارد.

دگرگونی پیش‌رونده و پس‌رونده:

اگر در ناحیه‌ای دگرگونی بر اثر افزایش فشار و حرارت بوجود آید پیش‌رونده است. در این دگرگونی کانیها پایداری خود را از دست می‌دهند و کانی‌هایی تشکیل می‌شوند که در شرایط جدید پایدار هستند. در این عمل ممکن است CO_2 و O_2 خارج شوند.

پس‌رونده یا دیافتورز یا قهقرایی: تبدیل کانی‌های درجه بالا به درجه پایین

درجات شدت دگرگونی: بین دیاژنز و دگرگونی منطقه حد واسطی و یا بینابینی وجود دارد به نام آنکی زون معرف شروع درجات بسیار ضعیف دگرگونی است.

درجه دگرگونی با فشار و حرارت و میزان دگرشکلی مرتبط است؛ اما درجه دگرگونی را با حرارت بیان می‌کنند.

۱۵۰ تا ۳۰۰^oC خیلی پایین
۳۰۰ تا ۵۰۰^oC پایین
۵۰۰ تا ۶۵۰^oC متوسط
۶۵۰ حدود به بالا (شدید)
۸۰۰ حدود خیلی بالا (خیلی شدید)

مثال ۱- چند شکلی یا پلی مورفیسم:

چندشکلی پدیده‌ای است که به‌موجب آن یک ماده ممکن است تحت شرایط فیزیکی متفاوت به بیش از یک شکل متبلور شود.

هر یک از انواع چندشکلی در شرایط خاصی از دما و فشار پایدارند.

در چندشکلی کدام شکل پایدارتر است؟ شکلی پایدارتر است که در وضعیت فیزیکی خاص نظم و آرایش A اتمی آن با کمترین انرژی ممکن انجام شود.

اهمیت چندشکلی؟ با پیدایی یکی از شکل‌های چندشکلی می‌توان به دما و فشاری که سنگ در آن تشکیل شده پی برد.

تغییر از یک نوع چندشکلی به نوع دیگر به ازای تغییرات فشار و دما ممکن است سریع یا کند و برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر باشد.

بعضی از تغییر و تبدیل‌ها با حضور کاتالیزورها انجام می‌شود. یعنی در تشکیل بعضی چندشکلی‌ها علاوه بر شرایط فیزیکی، شرایط شیمیایی را نیز باید در نظر گرفت.

پارامورفیسم: اگر یک کانی با تغییرات دما و فشار بدون آنکه شکل خارجیش عوض شود به کانی دیگری تبدیل شود.

متداول‌ترین پلی مورف سنگ دگرگونی: Al_2Sio_5

که به نام آندالوزیت (کانی فشار کم، دما کم)، کیانیت یا دیستن (فشار زیاد، دما کم) سیلیمانیت (کانی فشار و دمای زیاد)

واکنش‌های ناکامل در حالت جامد

این قبیل واکنش‌ها به‌صورت هاله‌ی واکنشی در بعضی سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

علل پیدایی هاله‌های واکنشی چیست؟ تغییرات فشار و دمای محیط

افزایش دما موجب پیدایی کانی‌هایی نوظهور با حجم بزرگ‌تر و افزایش فشار موجب پیدایش کانی‌های با وزن حجمی بیشتر و حجم کمتر می‌شود.

تعادل دگرگونی

بعضی از سنگ‌های دگرگونی دارای ترکیب کانی‌شناختی ساده‌ای هستند یعنی دارای ۲ یا ۳ کانی می‌باشند که طی دگرگونی از نظر ترمودینامیکی به حالت تعادل رسیده است.

سنگی که در مدت‌زمان طولانی تحت تأثیر فشار و حرارت قرار گرفته باشد کانی‌هایی را بوجود می‌آورد که در شرایط جدید پایدار هستند. این کانی‌های نوظهور در شرایط دگرگونی دارای کمترین انرژی پتانسیل شیمیایی‌اند.

پاراژنز: مجموعه کانی‌هایی که شرایط تشکیل و پایداری آن‌ها مشابه و از نظر شیمیایی و ترمودینامیکی با هم در تعادل باشند.

در چه شرایطی تعادل پاراژنتیکی برقرار است؟

۱- هر یک از کانی‌های مجموعه پاراژنتیکی باید دارای حدومرز مشخصی باشند که اگر این حد مرز مشخص نباشد نشانه‌ی عدم تعادل یا حصول درجه‌ی بسیار پایین تعادل است.
۲- بافت باید در نتیجه تبلور دوباره در سنگ دگرگونی بوجود آید. قطعه‌قطعه شدن نشانه تبلور نیست.
۳- در کانیها نباید نشانه زونینگ منطقه‌ای وجود داشته باشد.
۴- در کانیها نباید حالت جانشینی و یا هاله واکنشی وجود داشته باشد.

محیط دگرگونی

تحولات دگرگونی در حالت جامد صورت می‌گیرد.

بلورهای جدید ضمن رشد خود و با کنار زدن و از بین بردن جانشین مواد قبلی می‌شوند پس روابط بین دانه‌های مختلف تابع جاسازی کانی‌های مختلف است.

فاصله‌ای که در آن مواد آزادانه جابه‌جا می‌شوند نقش مهمی در ساخت سنگ و درجه حفظ‌شدگی یا از بین رفتن ساختمان اولیه‌ی سنگ بازی می‌کند.

در سنگ‌های دگرگونی کانیها با هم متبلور می‌شوند.

شکل هر کانی به چه عواملی بستگی دارد؟

۱- قابلیت انعطاف‌پذیری و سهولتی که کانی برای خود جا باز می‌کند
۲- بافت اولیه‌ی سنگ و حضور یک مرحله سیال در مرز بین دانه‌ها
۳- فشارهای وارد در محیط تشکیل سنگ دگرگونی

برای وقوع واکنش دگرگونی حضور یک فاز سیال ضروری است.

بافت سنگ دگرگونی: نتیجه واکنش‌های پدیده‌ی جانشینی و تبادل یونی است.
دگرگونی توپوشیمیایی و متاسوماتوز:

دگرگونی سنگ‌ها ممکن است در سیستم باز یا بسته انجام شود.

در سیستم باز: طی عمل دگرگونی ترکیب شیمیایی سنگ تغییر می‌کند زیرا ممکن است مقداری ماده به آن اضافه یا مقداری ماده آن کم شود به این حالت دگرگونی آلوشیمی و شایع‌ترین آن متاسوماتیسم است.

در سیستم بسته: ترکیب شیمیایی کل توده قبل از بعد از دگرگونی تغییر نکند به‌این‌ترتیب کانیها و ساخت سنگ تغییر نکند به این دگرگونی ایزوشیمی یا توپوشیمیایی گویند.

در هاله از بیرون به داخل، سنگ‌هایی با درجات دگرگونی متفاوت خواهیم داشت که عبارت‌اند از:

۱) منطقه شیستهای لکه‌دار: بلورهای دانه‌درشت کوردیوریت با واکنش زیر وارد شیست‌ها می‌شوند.

۲) منطقه شیتهای نودولی میکادار: سنگ حالت شیستی خود را از دست داده و حالت بلورین پیدا می‌کند. ابعاد دانه درشت‌تر شده و بیوتیت جدید بوجود می‌آید.

حذف کلریت برای تولید بیوتیت از مشخصات شیستهای نودولی است.

۳) هورنفلس آندالوزیت‌دار: بخش درونی‌تر هاله است.

بافت: اولیه سنگ از بین رفته و سنگ متراکم‌تر شده

ساخت: به‌صورت دانه‌ای یا پورفیروبلاستی است

با پیدایش آندالوزیت مطابق واکنش کوردیریت حذف می‌شود

گاهی در مجاورت توده‌های گرانیتی عمقی، هاله‌ی اضافی دیگری ممکن است دیده شود در این حالت آندالوزیت ناپایدار است در عوض سیلیمانیت و F(k) به‌جای Mus ظاهر می‌شود.

دگرشکلی سنگ‌ها

هرگاه جسمی تحت تأثیر نیرویی قرار گیرد در مقاطع مختلف آن نیروهایی موسوم به نیروهای داخلی به وجود می‌آید که شدت آن‌ها تنش (یا استرس) خوانده می‌شود. واحد تنش مانند واحد فشار را از جنس نیرو بر سطح است با این تفاوت که فشار شدت نیرو را در سطح خارجی حجم و تنش شدت نیرو را در سطوح داخلی جسم نشان می‌دهد.

تنش نیرو بر واحد سطح است که سبب دگرشکلی سنگ می‌شود.

واتنش (یا استرین) عبارت از تغییر شکل نسبی است که بر اثر عمل تنش به وجود می‌آید.

بر اثر تنش ماده‌ی جامد تغییر شکل می‌دهد و بعد از رفع تنش جسم تغییر شکل یافته به حالت اول باز می‌گردد.

اگر ماده بدون تغییر حجم، تغییر شکل دهد دگرشکلی را لغزشی یا برشی می‌نامند.

اقسام دگرشکلی اگر جسم تحت تأثیر نیروی (یا نیروها) قرار گیرد سه حالت پیش می‌آید:

۱. با افزایش نیرو، ابتدا جسم حالت ارتجاعی از خود نشان می‌دهد و اگر تنش برداشته شود حجم شکل و اندازه اولیه خود را از دست می‌دهد. این دگرشکلی از نوع کشسان (یا الاستیک) است (مانند عبور امواج زلزله از درون زمین).

۲. وقتی مقدار نیرو از حد خاصی تجاوز کند جسم به حالت اولیه بازنمی‌گردد در این حالت اگر شکلی خمیری (یا پلاستیک) رخ می‌دهد.
۳. اگر نیرو مدام افزایش یابد جسم‌ها می‌شکنند و دچار دگرشکلی شکننده می‌شوند.

بیشترین مقدار تنشی که سنگ قبل از شکستن تحمل می‌کند «مقاومت نهایی» آن نامیده می‌شود.

انواع تنش

۱) نوع کششی که موجب افزایش حجم ماده می‌شود.
۲) فشردگی که موجب کاهش حجم می‌شود.
۳) لغزشی که موجب تغییر در شکل ظاهری جسم می‌شود و تغییر در حجم آن نمی‌دهد.

عوامل مؤثر در تغییر شکل سنگ‌ها

فشار: با افزایش فشار همه‌جانبه مقدار جریان جامد و مقاومت شکنندگی سنگ زیادتر می‌شود.

دما: افزایش دما باعث تسریع تغییر شکل سنگ‌ها می‌شود.

زمان: هر چه نیروی وارد بر سنگ‌ها کم باشد ولی در زمان طولانی اثر کند مقاومت سنگ‌ها زیادتر می‌شود.

تغییر شکل کانی‌های سنگ

- در اتم‌های بلور در حالت تعادل نیروی جاذبه و دافعه‌ی بین آن‌ها در حد صفر است.

حالت تبلور حالت کمترین انرژی یک جسم جامد است.

دگرشکلی خمیری تحت تأثیر دو سازوکار زیر و در امتداد جهات بلورشناسی به وجود آید:

۱) لغزشی انتقالی
۲) لغزش دوقلو یا ماکل

لغزش انتقالی: جابجایی اتم‌هاست در جابجایی بلورشناسی خاص که درنتیجه‌ی آن شکل خارجی بلور تغییر می‌کند ولی کانی جدیدی به وجود نمی‌آید نتیجه این عمل تغییر در بافت سنگ است.

لغزش دوقلو یا ماکل: به آن کینک باند یا دگرشکلی دوقلو یا دوقلوی مکانیکی هم گفته می‌شود بخشی از ساختمان بلور نسبت به بخش مجاور جابجا شده ولی نسبت به آن همانند تصویر در آینه به حالت متقارن باقی می‌ماند.

ما کل‌های اولیه و ماکل‌های دگرشکلی

ماکلهای اولیه معمولاً در کانی‌های نظیر آمفیبول، پیروکسنها و فلدسپارها یافت می‌شوند و از تبلور ماده‌ی مذاب به وجود می‌آیند.

در دماها و تنش‌های حاکم بر دگرگونی درجات پایین و متوسط، امکان تشکیل ماکل اندک است ولی در کردیریت کم‌وبیش حالت، کلی پدید می‌آید.

رابطه زمانی بین دگرشکلی و دگرگونی

پور فیروبلاستها نسبت به کانی‌هایی که به‌صورت دانه‌ریز در زمینه سنگ یافت می‌شوند استحکام بیشتری دارند بنابراین در مقابل عوامل تغییر شکل مقاومت زیادتری از خود نشان می‌دهد.

۱) رشد پورفیروبلاست بعد از تکتونیک

بنابراین ابتدا سنگ تحت تأثیر تکتونیک قرار گرفته و پس‌ازآن شرایط رشد پورفیروبلاست در آن فراهم شده به‌این‌ترتیب بافت پویی کیلوبلاستی در آن به وجود آمده است. بنابراین

- رشد پورفیروبلاست بعد از تکتونیک بوده است.
- بعد از رشد، حادثه دیگری اتفاق نیفتاده است.

کوارتز، ایلمنیت و گرانیت از کانی‌های ویژه‌ای که در تشکیل شیستوزیته داخلی شرکت می‌کنند.

۲) رشد پورفیروبلاست بین دو تکتونیک

این نوع پورفیروبلاستها یک سری از شیستوزیته قدیمی وجود دارد که با سری شیستوزیته بعدی احاطه می-شوند.

رشد پورفیروپلاستها قبل از ایجاد شیستوزیته خارجی انجام شده و نشانه‌ای از دو حادثه تکتونیکی است.

۳) پورفیروبلاستهای سن تکتونیک

اگر انکلوزیونهای موجود در یک پورفیروبلاست حالت تاب‌خورده داشته باشد.

این پورفیروبلاستها همزمان با تکتونیک (سن تکتونیک) اند و نشانه چرخش پورفیروبلاست در ضمن رشد است.

اقسام دگرگونی

دو نوع دگرگونی را می‌توان از هم مجزا کرد که فقط از نظر مقیاس با هم متفاوت‌اند:

۱) انواعی که ابعاد محدود دارند و به یک منطقه خاص وابسته‌اند مانند دگرگونی‌های که در حاشیه یک توده آذرین (دگرگونی مجاورتی) یا در نتیجه اصابت و برخورد سنگ‌های آسمانی در سطح زمین به وجود می‌آید.

۲) دگرگونی‌های بزرگ مقیاس و قابل نقشه‌برداری

این نوع دگرگونی را دگرگونی ناحیه‌ای یا عمومی می‌گویند که شامل دیناموترمال متامورفیسم و دگرگونی تدفینی (انباشتی) است.

دگرگونی اصابتی یا دگرگونی ضربه‌ای عامل امواج ضربه‌ای و تغییرات ناشی از آن‌ها در سنگ‌ها نتیجه برخورد بسیار سریع شهاب سنگ‌ها است. نوعی دگرگونی دینامیکی محسوب می‌شود که به‌صورت ساختمان‌های دایره‌ای شکل یافت می‌شوند. این ساختمان‌ها اساساً در نتیجه برخورد اصابت سنگ‌های آسمانی (متئوریت یا در نتیجه انفجارهای هسته‌ای زیرزمینی) به وجود می‌آیند.

- اگر حجم و وزن سنگ آسمانی زیاد و سرعت آن نیز زیاد باشد موجب ذوب یا تبخیر سنگ می‌گردد.
- مقدار فشار در مخروط‌های خردشدگی بین ۵ تا ۱۰ کیلوبار و در سنگ‌های ذوب شده در حدود ۶۰ کیلوبار (ناشی از ضربه) تخمین زده شده است.

دگرگونی مجاورتی یا دگرگونی حرارتی

این دگرگونی دامنه محدودی دارد به تشکیل سنگ‌های دگرگونی در پیرامون توده‌های نفوذی منجر می‌شود. دما در این نوع دگرگونی نقش اساسی دارد. در دگرگونی‌های مجاورتی غالباً هورنفلس به وجود می‌آید که به علت نبود تنش، کانیها بدون نظم و ترتیب و به‌طور اتفاقی قرار می‌گیرند.

- ضخامت هاله دگرگونی در سنگ‌های پلیتی و آهکی زیادتر از لایه‌های ماسه‌سنگی است و در سنگ‌هایی ماگمایی به حداقل می‌رسد.

ضخامت هاله‌ی دگرگونی در حول‌وحوش یک توده‌ی نفوذی:

الف) بستگی به وضع هندسی، حجم، نوع توده مذاب و عمق استقرار آن دارد.

ب) در سنگ‌های میزبان به نوع، دما، وضع لایه‌بندی سیالات یا آب موجود در آن تراوایی آن بستگی دارد.

گرمای سنگ‌های مجاور از رابطه زیر به دست می‌آید:

Tr: درجه گرمایی محلی است که قبل از نفوذ توده ماگمایی در آن وجود داشته است.

$$T = ۸۰۰ \times \frac{۶۰}{۱۰۰} + Tr$$

- این نوع دگرگونی در مجاورت توده‌های نفوذی یا خروجی آذرین رخ می‌دهد.

در سنگ‌های رسوبی مانند شیلها و سنگ آهک‌ها اثر دگرگونی مجاورتی بسیار مشخص است؛ اما اگر سنگ‌ها از پیش در حد درجه‌ی متوسط و بالا شده باشند اثر دگرگونی مجاورتی واضح نخواهد بود.

نوعی از دگرگونی مجاورتی، که در دما بالا و در شرایط آتش‌فشانی یا نیمه آتش‌فشانی در محل تماس سنگ میزبان یا زینولیتها با ماگما رخ می‌دهد و با ذوب بخشی همراه است پیرومتامورفیسم نامیده می‌شود.

دگرگونی دینامیکی یا دگرگونی کاتاکلاستیکی

دگرگونی دینامیکی یا کاتاکلاستیکی در مجاورت گسل‌ها و روراندگیها رخ می‌دهد و یک فرآیند حاصل از نیروی مکانیکی محض است.

در سطوح فوقانی پوسته زمین سنگ‌ها شکننده‌اند؛ بنابراین وقتی تحت تأثیر حرکت مکانیکی شدید قرار گیرند خرد می‌شود. ولی در سطح عمیق‌تر که دما زیادتر است ممکن است حرکت با تبلور دوباره همراه باشد و در حالت استثنایی حتی ممکن است پدیده ذوب نیز اتفاق افتد (ذوب مالشی- یا اصطکاکی).

- قطعه‌قطعه شدن شدید در سطوح گسل‌ها یا روراندگیها باعث ایجاد برش گسلی می‌شود.
- این نوع دگرگونی همراه با تغییر شکل‌های شدید تحت تنش‌های برشی قوی در دمای نسبتاً کم است.
- سنگ‌های حاصله معمولاً بدون تورق بوده و برش گسلی، آرد سنگ و تاکیلیت دروغین نامیده می‌شود. این سنگ آفانیتیک بوده و مشابه شیشه‌ی بازالتی سیاه است.
- میلونیتها را به دلیل همراه بودن با تبلور همزمان با تکتونیک و رشد نئوبلاستها خرده‌سنگ‌های کاتاکلاستیک به‌حساب نمی‌آورند.

دگرگونی ناحیه‌ای یا دینامو‌ترمال متامورفیسم

دگرگونی ناحیه‌ای گسترش زیادی دارد و خاص نوارهای کوهزایی است. در مناطقی که دو صفحه لیتوسفر به هم می‌رسند یعنی در تمام نوارهای بزرگ کوهزایی جهان را مشاهده کرد. این دگرگونی کمابیش با ماگماتیسم همراه است.

سنگ‌های حاصل از این نوع دگرگونی معمولاً دارای فابریک فاقد همراه با جهت یافتگی دانه‌های کانی‌هاست که عمده‌ترین آن‌ها عبارت از فیلیت، شیست و گنیس است.

حد این دگرگونی بسیار وسیع است و از چند صد تا چندین هزار کیلومترمربع گسترش دارد.

عامل اصلی این دگرگونی فشارهای جهت‌دار است که مسلماً دما نیز در آن نقش دارد. میزان دما در این دگرگونی گاهی به ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار فشار بین ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بار می‌رسد.

فشار جهت‌دار موجب جهت یافتگی کانیها می‌شود.

- نیروهای کوهزایی موجب خردشدگی، چین‌خوردگی و رو راندگی می‌شوند ولی در ترازهای زیرین موجب جابجایی، تبلور مجدد کانیها در حالت جامد می‌شوند.

مشخصات کلی دگرگونی ناحیه‌ای یا دیناموترمال متامورفیسم

- وسعت و گسترش زیاد
- همزمانی با تکتونیک (سین تکتونیک)
- دارا بودن فابریک انیزوتروپی
- درجات دگرگونی مختلف و در نتیجه سنگ‌ها دگرگونی متفاوت

دگرگونی انباشتی یا تدفینی

نوعی دگرگونی درجه‌ی حرارت کم که در رسوبات و سنگ‌های آتش‌فشانی بین آن‌ها در یک ژئوسنکلینال بدون اثر فرآیندهای کوهزایی و نفوذ ماگما رخ می‌دهد.

سنگ‌ها اغلب بدون تورق بوده و فابریک اولیه خود را حفظ نموده‌اند به طوریکه کانی‌های دگرگونی تازه شکل‌گرفته با کانی‌های محفوظ از سنگ اولیه در کنار هم یافت می‌شوند.

قلمرو شرایط این نوع دگرگونی با دیاژنز عمیق هم‌پوشانی دارد.

مجموعه کانی‌هایی که در این نوع دگرگونی به وجود می‌آیند بیشتر بر اثر افزایش دما ایجاد می‌شود نه فشار.

دگرگونی استاتیک

در این حالت فشار جهت‌دار دخالت ندارد و این دگرگونی در دما و فشار فزاینده به وجود می‌آید.

دگرگونی زیر کف اقیانوس‌ها

این نوع دگرگونی در مجاورت ریفتهای داخل اقیانوسی یعنی جایی دیده می‌شود که گدازه‌ی بازالتی به کف اقیانوس می‌رسد. وسعت و پراکندگی آن نیز به دلیل گسترش شکاف‌های عظیم اقیانوسی زیاد است.

از ویژگی‌های عمده این سنگ‌ها رگه‌دار بودن شدید است که در اثر چرخش مقادیر زیادی از آبهای اقیانوسی داغ شده در میان آن‌ها است.

در این فرآیند تبادلاتی بین آب دریا و سنگ‌ها رخ می‌دهد که این جنبه این دگرگونی مشابه دگرگونی هیدروترمال است.

محدوده درجه حرارت این دگرگونی معمولاً ۱۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار آن کمتر از ۳ کیلو بار است و تغییرات زمین‌گرمایی در جهت افقی و عمودی حدود ۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به ازای هر کیلومتر است.

در مناطق ریفتی فعال افزایش درجه‌ی زمین‌گرمایی سریع است و تقریباً ۵ تا ۸ برابر مناطق دیگر سطح زمین است.

در دگرگون شدن سنگ‌های کف اقیانوس نقش دما همراه با حضور سیالات حائز اهمیت، ولی عملکرد فشار ناچیز است.

دگرگونی یا دگرسانی هیدروترمال

منظور از دگرگونی هیدروترمال فعل‌وانفعال‌هایی است که بین سیالات داغ (به‌صورت محلول‌های مایع یا گاز) با سنگ‌های اطراف انجام می‌شود و به‌موجب آن بعضی از مواد این سیالات به سنگ‌های مجاور وارد و بعضی دیگر از آن خارج می‌شوند.

از ویژگی‌های بافتی این دگرگونی جانشینی یک کانی به‌جای دیگر است (پسدومورف) و گاهی تشکیل حاشیه واکنشی در اطراف کانی اولیه.

در محلول‌های ماگمایی در حدفاصل بین سنگ‌های مختلف، مواد به مهاجرت خود ادامه می‌دهد. این مهاجرت ممکن است به دو طریق صورت گیرد.

۱) مواد سازنده در بین حفره‌های ساکن در جهتی که تمرکز آن کم باشد منتشر می‌شود (متاسوماتیسم انتشاری) مهاجرت از راه انتشار
۲) مواد در حفره‌ها به‌صورت محلول حرکت نموده و در سنگ‌های اطراف نفوذ می‌کند (متاسوماتیسم تراوشی) مهاجرت از راه تراوش

- پدیده فنیتی شدن نیز نوعی متاسومتیسم است که در اطراف توده‌های نفوذی کربناتیتی به وجود می‌آید.

خود دگرگونی یا اتومتامورفیسم

هنگامی‌که یک توده ماگمایی در حضور سیالات خود انجماد یابد کانی‌های آن دستخوش تغییر و تحولات خاصی می‌شوند.

این نوع دگرگونی به تغییرات کانی‌شناسی ثانوی در سنگ‌های آذرین شباهت بسیار دارد و به این تغییرات اتومتامورفیسم یا خود دگرگونی می‌گویند.

چند دگرگونی یا پلی متامورفیسم

هنگامی‌که سنگ‌های دگرگون تحت تأثیر حرارت گرمایی یا دگرشکلی‌های بعدی دیگری قرار گیرند مجدداً دگرگون می‌شوند و پلی متامورفیسم به وجود می‌آید.

چند دگرگونی بر دو نوع‌اند:

- دگرگونی پیش‌رونده، یا دگرگونی(هایی) که در آن شدت دگرگونی در مراحل بعدی زیادتر باشد.
- دگرگونی پس‌رونده یا قهقرایی یا دیافتورز، اگر شدت دگرگونی بعدی کمتر از اول باشد تعیین مراحل دگرگونی معمولاً امکان‌پذیر است.

- هرگاه مجموعه کانی‌های بی‌آب (مانند گرونا و استروئید) که در دماهای بالاتر به وجود می‌آیند با مجموعه‌های آبدار (مثلاً کلریت و میکاها) جانشین شوند نشان‌دهنده دگرگونی قهقرایی است.
- در دگرگونی‌های پیش‌رونده واکنش‌ها با خروج تدریجی آب از محیط مشخص می‌شوند؛ بنابراین وجود آب برای برقراری دگرگونی‌های پس‌رونده (قهقرایی) الزامی است.
- تغییر و تحولات قهقرایی اساساً در مناطق خرد شده و گسل خورده به سهولت بیشتری انجام می‌شود.

استفاده از قانون فازها

در حالت تعادل می‌توان تعداد کانی‌های یک سنگ دگرگونی را به کمک قانون فازها، تعیین کرد.

اگر حالت تعادل در محیط دگرگونی برقرار باشد، می‌توان تعداد فازها (کانیها) را از قانون گیبس به دست آورد.

$$V = C - P + ۲$$

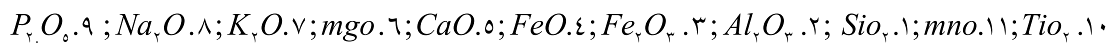
V: تعداد متغیر یا واریانس

C: تعداد تشکیل‌دهنده

P: تعداد فازهای موجود در تعادل

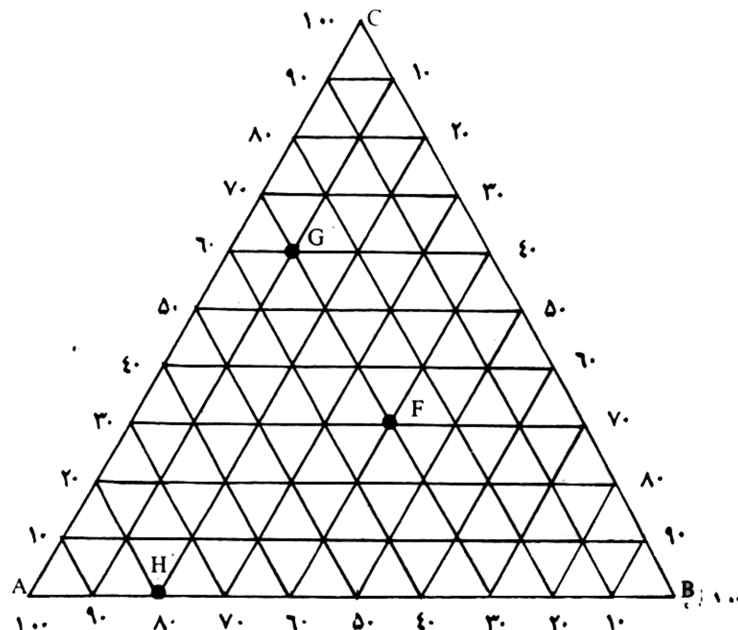
* در محیط‌های دگرگونی V = ۲ $\qquad$ $۲ = C - P + ۲$

در حالت کلی، اکسیدهای (تشکیل‌دهنده‌ی) سازنده یک سنگ دگرگونی عبارت‌اند از:


P_2O_5.۹ ; Na_2O.۸; K_2O.۷; mgo.۶; CaO.۵; FeO.۴; Fe_2O_3 .۳; Al_2O_3 .۲; Sio_2.۱; mno.۱۱; Tio_2 .۱۰

نمودارهای مثلثی که برای نشان دادن پاراژنزهای دگرگونی به کار می‌روند.

نحوه استفاده از نمودارهای سه‌تایی



روش تعیین هر ترکیب دلخواه در سیستمهای سه‌تایی که به‌صورت مثلث متساوی‌الاضلاع نمایش داده می‌شود.

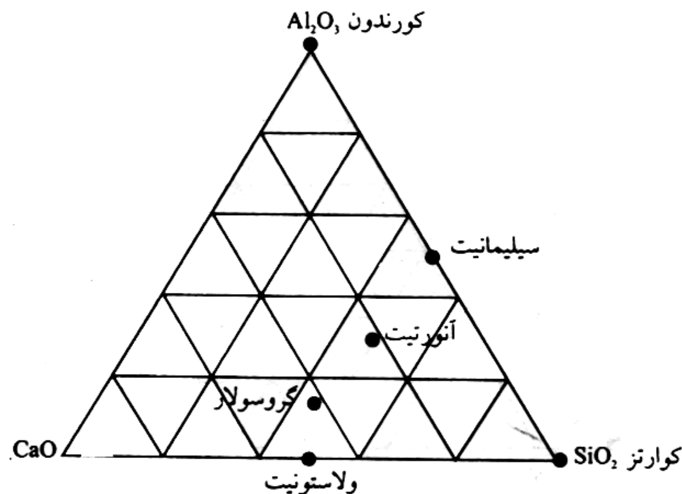
روشی را نشان می‌دهد که با آن می‌توان محل هر ترکیب دلخواه را به‌آسانی پیدا کرد.

A و B و C هر یک از آن‌ها ترکیب خالص (۱۰۰) درصد را نشان می‌دهد.

نقطه G معرف ترکیبی ماده‌ای است با ۳۰ درصد از A، ۴۰ درصد از B و ۳۰ درصد از C

نقطه H که روی خط AB قرار دارد معرف ترکیبی است که در آن ۸۰ درصد از A و ۲۰ درصد از B وجود دارد و فاقد C است.

۱. سیستم سه‌تایی $CaO-Al_2O_3-SiO_2$



محل بعضی از کانیها براساس ترکیب شیمیایی آنها در نمودار سه‌تایی $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$.

ابتدا کانی‌هایی را در نظر مجسم می‌کنیم که اکسیدهای سازنده آن‌ها سه یا کمتر از ۳ باشد مانند.

ولاستونیت (به فرمول CaO, SiO_2)

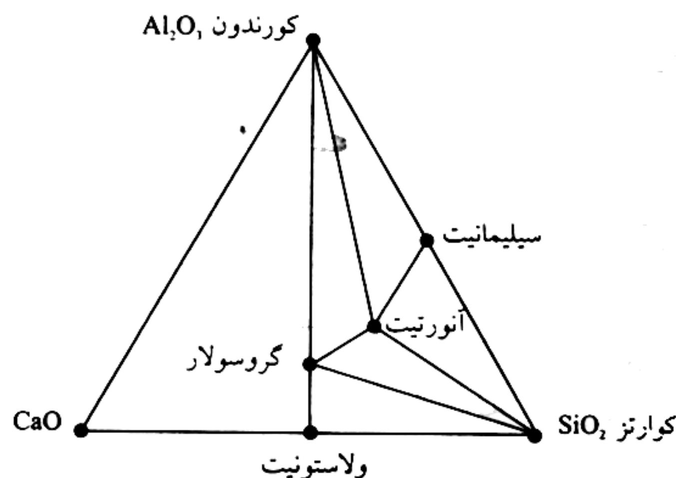
و گروسولار (به فرمول $3CaO, Al_2O_3, 3SiO_2$)

سیلیمانیت (Al_2O_3 , SiO_2)

کوارتز (SiO_2)

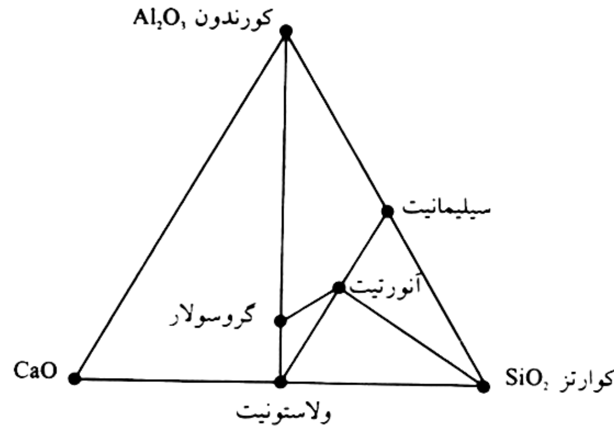
و کورندون Al_2O_3 با محاسبه درصد مولکولی هر یک از آن‌ها می‌توان محل آن‌ها را مشخص کرد.

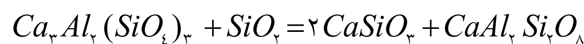
* قانون فازها: تعداد کانی‌های تشکیل‌دهنده باید مساوی یا کمتر از تشکیل‌دهنده باشد.



پاراژنز کانیهای همزیست در سیستم سه‌تایی $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$.

معرف پاراژنز کانی‌های است که می‌توانند در فشار و دمای معینی پایدار باشند ولی اگر فشار ثابت باشد و دما افزایش یابد مجموعه گروسولار و کوارتز پایدار نخواهد بود و بجای آن مجموعه ولاستونیت- آنورتیت پایدار می‌شود یعنی خط اتصال کوارتز- گروسولار از بین می‌رود و خط اتصال جدید آنورتیت- ولاستونیت اعتبار خواهد داشت درواقع این تغییر معرف واکنش زیر است.




پاراژنز کانیهای همزیست در سیستم سه‌تایی $CaO - SiO_2 - Al_2O_3$

$$Ca_3Al_2(SiO_4)_3 + SiO_2 = 2CaSiO_3 + CaAl_2Si_2O_8$$

آنورتیت + ۲ ولاستونیت = کوارتز + گروسولار

۲) نمودار ACF

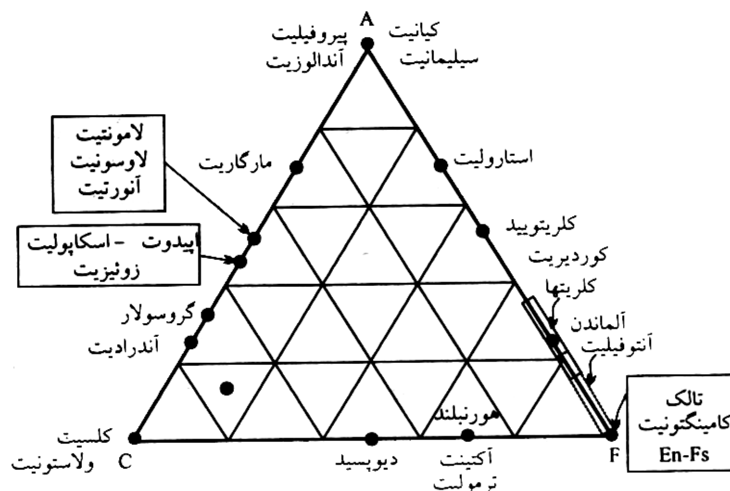
در این نمودار

$$C = CaO \quad , A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O), F = FeO + mgo(+mno)$$

مقادیر اکسیدها در این نمودار و نمودارهای دیگر برحسب درصد مولی است.

این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌ها متابازیت مناسب‌تر است.

رخساره‌های دگرگونی که معمولاً برای سرزمین‌های دگرگونی دار متابازیت مرسوم است این نمودار کاربرد گسترده‌ای دارد.



نمایش موقعیت کانیهای دگرگونی در ACF

موقعیت برخی از رخساره‌های دگرگونی نشان داده‌شده است.

- این نمودار مخصوص کانی‌های سرشار از سیلیس است بنابراین الیوین در آنجایی ندارد.
- مسکوویت از کانی‌های مهم سنگ‌های دگرگونی است.

۳) نمودار AF'K

در این نمودار $A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O), F = FeO + mgo, K = K_2O$ است. این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی متاپسامیتها و متاپلیتهایی غنی از پتاسیم و برخی سنگ‌های دیگر بکار می‌رود.

نمودار AFM

در این نمودار $A = Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O), F = FeO, m = mgo$ است. از این نمودار برای نمایش ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های پلیتی (متاپلیت) و برخی سنگ‌های دیگر استفاده می‌شود. این نمودار از تصویر نمودن موقعیت ترکیبات چهاروجهی AFMK بر روی وجه AFM نسبت به نقطه مبنای مسکوویت یا پتاسیم فلدسپار حاصل می‌شود.

درجه دگرگونی یا گراد

- اصطلاحی برای مشخص کردن شدت نسبی دگرگونی در ناحیه‌ای معین به کار می‌رود.
- تعادل ترمودینامیکی در یک سیستم، تابع تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی محیط است.

هر چه سنگ درجه دگرگونی بیشتری متحمل شود کانی‌های آن دانه درشت‌تر است زیرا در دمای بیشتر انتشار مواد در حدفاصل دانه‌ها با سرعت و سهولت بیشتری انجام می‌شود.

تعیین درجه دگرگونی برحسب عمق

در این نوع به ترکیب شیمیایی سنگ‌ها چندان توجهی نمی‌شود به‌علاوه بین مقدار دما و فشارهای مختلف با عمق رابطه‌ای دیده نمی‌شود.

تعیین درجه دگرگونی برحسب مناطق یا زون‌های دگرگونی

در مناطقی که درجات دگرگونی آن‌ها قابل نقشه‌برداری باشد مشخص‌کننده زون‌های دگرگونی‌اند.

- ایزوگراد عبارت است از خطوطی روی نقشه و از اتصال نقاطی به دست می‌آید که کانی یا مجموعه خاصی از کانیها در آن نقاط ظاهر یا ناپدید می‌شوند. خطوط ایزوگراد معرف حد خارجی زون یا منطقه دگرگونی است.

زون‌های دگرگونی متوالی به کمک ظهور کانی‌های جدیدی که در زون پایین‌تر وجود ندارد شناخته می‌شوند این زون‌ها را هم می‌توان در دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی تشخیص داد.

برای تعیین زون‌های دگرگونی دو نکته را باید در نظر گرفت:

۱) کانی‌های جدیدی که در هر زون به وجود می‌آید باید به‌صورت درشت‌بلور (پورفیروبلاست) باشد.

۲) ترکیب شیمیایی سنگ مادر در تمام درجات مختلف دگرگونی ثابت و یکنواخت باشد.

تعیین درجه بر اساس رخساره‌های دگرگونی

رخساره (فاسیس) دگرگونی به مجموعه کانی‌های مختلفی اطلاق می‌شود که در یک منطقه‌ی معین و تحت شرایط فیزیکی (فشار و دمای) مشخص از انواع مختلف سنگ‌ها و در یک مرحله دگرگونی به وجود آمده باشد.

اقسام رخساره‌ها

۱. مجاورتی
۲. تدفینی
۳. ناحیه‌ای

رخساره‌های دگرگونی مجاورتی: رخساره‌های دگرگونی مجاورتی با توجه به افزایش دما.

۱.آلبیت- اپیدوت هورنفلس
۲.رخساره هورنبلند هورنفلس
۳.رخساره پیروکسن هورنفلس
۴.رخساره سانیدینیت

رخساره آلبیت- اپیدوت هورنفلس: که دما بیش از ۳۵۰ درجه کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد به وجود می‌آید.

رخساره هورنبلند هورنفلس: که در دمای ۱۵±۵۳۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۰۰۰ بار، یا $\pm ۲۰^{o}C$ و فشار ۲۰۰۰ به وجود می‌آید.

رخساره پیروکسن هورنفلس: این رخساره در دمای بالاتر به وجود می‌آید ۶۰۵-۵۸۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۰۰ بار فشار یا ۶۳۵-۶۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۰۰ بار فشار).

رخساره سانیدینیت: این رخساره در دمای بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به وجود می‌آید که گاهی با پدیده ذوب بخشی هم همراه است که غالباً هنگامی اتفاق می‌افتد که سنگ یا وارد توده‌ی مذاب می‌شود یا در حاشیه‌های توده‌های نفوذی بازیک نزدیک به سطح زمین واقع شود.

رخساره‌های دگرگونی بر اثر وزن یا رخساره‌های تدفینی

اقسام این رخساره برحسب ازدیاد دما و فشار به سه نوع تقسیم کرد.

۱) رخساره زئولیتی
۲) رخساره پرهنیت- پومپله ایت
۳) رخساره گلوکافان شیست یا گلوکوفانیت یا شیست

رخساره زئولیتی: با پایداری کانی‌های خانواده زئولیت مانند آنالیسم، هولاندیت، لامونتیت و لاوسونیت مشخص می‌شود.

رخساره پرهنیت: که با حضور دو کانی پرهنیت و پومپلهایت و گاهی اکتینولیت مشخص می‌گردد و از دگرگونی گری وکها پدید می‌آید.

رخساره گلوکوفان شیست یا گلوکوفانیت یا شیست آبی

سنگ‌های این رخساره کمیاب است. پیروکسن آن‌هم از نوع سدیم دار یعنی ژادئیت است که اختصاص به فشار زیاد- دما کم دارد.

حضور رخساره گلوکوفان شیست در محل دراز از گودال‌هایی که در حال فرورانش باشد امری طبیعی است.

زیرا فشار وزن لایه‌های فوقانی و فرورانش پوسته زیرین بر منشورهای به هم افزوده این نـواحی شـرایط را در حد ایجاد این رخساره افزایش دهد.

رخساره‌های دگرگونی ناحیه‌ای

رخساره‌های مهم دگرگونی ناحیه‌ای عبارت‌اند از:

الف) رخساره شیست سبز

ب) رخساره آمفیبولیت

ج) رخساره گرانولیت

د) رخساره اکلوژیت

الف) رخساره شیست سبز: که با مجموعه‌ی کانی‌های سبزرنگی مانند اکتینولیت، اپیدوت و کلریـت و حضـور پلاژیوکلاز سدیم‌دار (آلبیت) مشخص می‌گردد در سـنگ‌های پلیتـی زون‌هـای کلریـت، بیوتیـت و گارنـت در ایـن رخساره شکل می‌گیرند.

ب) رخساره آمفیبولیت: ایـن رخسـاره خـاص دگرگـونی ناحیـه‌ای در دمـا و فشـار متوسـط اسـت و شـامل مجموعه‌های کانی‌شناسی است که در آن هورنبلند و پلاژیوکلاز کانی‌های شاخص محسوب می‌شوند.

در حالتی که دما زیـاد و فشـار کـم یـا متوسـط باشـد رخسـاره اسـت ماننـد پیروکسـن، پلاژیـوکلاز، ارتـوز (میکروکلین) و گاهی کوارتز، گارنت و کردیریت مشخص می‌شود.

د) رخساره اکلوژیت: مختص فشارهای زیاد و از دگرگونی سنگ‌های بازیک به وجود مـی‌آیـد؛ کـه در اعمـاق پوسته‌ها قاره‌ای ظاهر می‌شود. با حضور کانی‌های غنی از پیروپ و پیروکسـن غنـی از امفاسـیت (بـین دیوپسـید و ژادئیت) مشخص می‌گردد.

درجات دگرگونی و شدت آن:

سنگ‌های دگرگونی را برحسب مقدارهای مؤثر به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱. دگرگونی دمای خیلی پایین یا دگرگونی خیلی خفیف یا خیلی کم شدت
۲. دگرگونی دمای پایین یا دگرگونی خیلی خفیف یا خیلی کم شدت
۳. دگرگونی دمای پایین یا دگرگونی خفیف یا دگرگونی کم شدت
۴. دگرگونی دمای متوسط یا دگرگونی متوسط
۵. دگرگونی دمای زیاد یا دگرگونی شدید

مرز بین دگرگونی خیلی خفیف و خفیف (بین ۱ و ۲ حالت‌های) با آغاز رخساره شیست سبز مطابقت دارد.

مرز بین درجه‌ی پایین و متوسط نیز با آغاز رخساره‌ی آمفیبولیت تطبیق می‌کند.

حد نهایی دگرگونی درجات شدید نیز با ظهور میگماتیت هنگامی‌که بخار آب در محیط وجود داشته باشد یا ظهور رخساره‌ی گرانولیت مشخص می‌گردد.

ساخت، بافت و فابریک سنگ‌های دگرگونی

ساخت و بافت سنگ‌های دگرگونی رابطه تنگاتنگی با اندازه دانه‌ها و نحوه‌ی کنار هم چیده شـدن دانـه‌هـای این سنگ‌ها دارد.

پیشوند ارتو به مفهوم منشأ ماگمایی و پیشوند پارا تعیین‌کننده منشأ رسوبی سنگ دگرگون شده است.

الف) بافت اولیه سنگ‌های دگرگونی

بافت قدیمی یک سنگ دگرگون شده را به‌خصوص هنگامی‌که سنگ تحت شرایط دگرگونی ضعیف قرار گرفته باشد می‌توان تشخیص داد.

۱) اگر سنگ‌های آذرین تحت تأثیر دگرگونی درجات ضعیف قرار گیرند کانی‌های اولیه به مجموعه‌ای از کانی‌های دانه‌ریز تبدیل می‌شود که در حجم کانی اولیه پراکنده‌اند.

۲) در سنگ‌های رسوبی یکی از علل لایه‌بندی در سنگ‌های رسوبی، تغییر در ترکیب کانی‌های آن است.

ب) ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی بیشتر سنگ‌های دگرگونی مشابه ترکیب شیمیایی سنگ اولیه‌ای است که از آن به وجود آمده‌اند.

ج) کانیها

وجود هر یک از این کانیها نشانه غیر آذرین بودن سنگ اولیه است: استروتید؛ کلریتویید، آندالوزیت.

بافت و ساخت در سنگ‌های دگرگونی

بافت در سنگ‌شناسی دگرگونی همان مفهوم سنگ‌شناسی آذرین را دارد.

و عبارت است از درجه تبلور، شکل، اندازه دانه‌ها و رابطه‌ای که بین آن‌ها در مقیاس میکروسکوپی وجود دارد.

ساخت: ساخت از ظاهر سنگ، مانند رابطه بین مجموعه کانیها، لایه‌بندی و ریز چین‌ها، صحبت می‌شود.

فابریک: مترادف ساخت به کار می‌رود و عبارت است از بررسی شکل هندسی و ترکیب فضایی کانی‌های سنگ دگرگونی است و درواقع شامل بافت و ساخت است.

فولیاسیون عبارت است از فابریک لایه به لایه سنگ که گاهی شامل روی‌هم قرار گرفتن موازی کانی‌های سازنده سنگ در مقیاس میکروسکوپی و گاهی موازی قرار گرفتن لایه‌هایی از سنگ است که اولی شامل بافت و دومی شامل ساخت.

فابریک سنگ‌های دگرگونی تابع عواملی زیر است:

- فابریک سنگ اولیه
- رشد و نمو بلورها در حالت جامد
- فرآیندهای تغییر شکل سنگ‌ها طی دگرگونی
- نوع تنش (همه‌جانبه یا غیر همه‌جانبه)
- ترکیب کانی‌شناسی سنگ

در فابریک سنگ‌های دگرگونی، حدومرز کانی‌های سازنده یا مجموعه‌ای از کانیها در سه جهت فضایی موردتوجه قرار می‌گیرند و به دودسته تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از:

الف) فابریک ایزوتروپ (همسان)

ابعاد کانیها در تمام جهات فضایی تقریباً یکسان است. در مقیاس روی زمین یا نمونه‌ی دستی آن را ساخت ماسیو (توده مانند) هم نامیده‌اند و آن را فابریک گرانوبلاستی نامیده می‌شود و فشار جهت‌دار در این فابریک نقشی ندارد.

ب) فابریک انیزوتروپ (ناهمسان):

بر اثر فشار جهت‌دار و در نتیجه جریان یافتن سنگ در حالت جامد حاصل می‌شود. اجتماع کانی‌های طویل شده در سنگ به صورتی است که درمجموع جهت یافتگی خاصی در سنگ ظاهر می‌شود.

فابریک انیزوتروپ را می‌توان به انواع صفحه‌ای، خطی و صفحه‌ای- خطی تقسیم کرد.

بلاست: این اصطلاح ممکن است به‌صورت پیشوند یا پسوند به کار رود در سنگ‌های دگرگونی برای مشخص کردن بافت قدیمی سنگ والد به کار می‌رود.

بلاستوپورفیری عبارت از سنگ آذرینی است که بافت پورفیری داشته باشد و پس از دگرگونی، این بافت را در آن بتواند تشخیص داد.

کریستالوبلاست بلور هر کانی است که در نتیجه دگرگونی به وجود آمده باشد و شامل انواع زیر باشد.

ایدیوبلاستها: یا بلاستهای خود شکل: از بلاستها (عبورهایی) که شکل هندسی داشته باشد.

ترنوبلاستها یا بلاستهای فاقد شکل هندسی: که شکل هندسی خاصی در آن‌ها دیده نمی‌شود.

هیپدیوبلاست‌ها یا بلاستهای نیمه خود شکل: در جهاتی فاقد شکل هندسی باشند.

سریهای کریستالوبلاستی: ۱. اصطلاح کریستالوبلاستی

معرف بلورهایی است که در نتیجه متبلور مجدد و رشد بلورها طی دگرگونی حاصل شده باشد، نشانه رشد بلورها در حالت جامد است. سری کریستالوبلاستی معرف درجه‌ی خودشکلی کانی‌های یک سنگ دگرگونی است.

اقسام فابریک‌های دگرگونی

الف) سنگ‌های بدون جهت یافتگی

ب) سنگ‌های دارای جهت یافتگی برتر و مشخص

سنگ‌های بدون جهت یافتگی برتر

این فابریک عموماً در سنگ‌هایی که از تک کانی تشکیل شده باشند در این حالت با توجه به انرژی سطحی یکسان در بلورها، ابعاد دانه‌ها یک اندازه است.

اقسام مهم این فابریک عبارت‌اند از:

۱. فابریک موزاییکی: در زیر میکروسکوپ همانند موزاییک‌هایی است که در کنار هم چیده شده باشند. فاصله بین دانه‌ها در این فابریک مساوی و دانه‌ها متساوی‌البعد و مرز بین آن مستقیم الخط است این فابریک را گرانوبلاستی هم می‌گویند.

۲. فابریک در هم رفته یا مضرسی: عبارت از فابریکی متشکل از دانه‌های مساوی هم و متساوی‌البعد و گاهی عدسی است. مرز دانه‌های مجاور غیرمنظم و مضرسی و در هم رفته‌اند.

۳. فابریک کریستالوبلاستی: فابریکی از یک سنگ دگرگونی تجدید بلور یافته است.

۴. فابریک پورفیروبلاستی: در بعضی از سنگ‌های دگرگونی بلورهای بزرگ در زمینه‌ای از کانی‌های کوچک‌تر و دانه‌ریز تر قرار دارند.

۵. فابریک پوئی کیلوبلاستی: گاهی از داخل پورفیروبلاستها، انکلوزیونهایی از کانی‌هایی کوچک‌تر دیده می‌شود. گاهی ممکن است انکلوزیونهای مزبور قبل از آغاز دگرگونی در کانی درشت‌تر وجود داشته باشد.

سنگ‌های دارای جهت یافتگی برتر و مشخص

در بسیاری از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای، جهت یافتگی برتر وجود دارد یعنی کلیه‌ی بلورها تقریباً در امتداد فابریک سنگ به‌طور موازی قرار می‌گیرند و کم‌وبیش با هم موازی‌اند.

جهت یافتگی بلورها به دو صورت صفحه‌ای (در امتداد یک صفحه کم‌وبیش موازی) و خطی (در امتداد خطوط کم‌وبیش موازی) دیده می‌شود.

جهت یافتگی یا فابریک صفحه‌ای

جهت یافتگی صفحه‌ای را شیستوزیه یا فولیاسیون می‌گویند. از ساخت صفحه‌ای موازی در سنگ‌های دگرگونی است که موجب تورق نسبتاً آسان سنگ در همین امتداد می‌شود.

حالات مختلف جهت یافتگی صفحه‌ای عبارت‌اند از:

کلیواژ: عبارت از سطوح موازی شکستگی نزدیک به هم در یک سنگ دگرگونی دانه‌ریز است و خود حالات مختلف دارد:

کلیواژ شکستگی یا کلیواژ درزه‌ای: سنگ در نتیجه لغزش مکانیکی به‌صورت ورقه‌های ظریف درمی‌آید در این حالت توازی کانیها وجود ندارد و تنها شکستگی‌های بسیار ریز و به هم فشرده موجب تورق سنگ شده است، مانند حالتی که در میلونیتها دیده می‌شود.

کلیواژ اسلیتی: در سنگ‌های آفانیتی بروز می‌کند و به علت قرار گرفتن کانی‌های ورقه‌ای به‌موازات سطح کلیواژ جلای خاصی در این سطح به وجود می‌آید.

کلیواژ جریانی: درواقع باید آن را کلیواژ اسلیتی نامید و تفاوت آن با کلیواژ اسلیتی تورق آسان‌تر در امتداد سطوح کلیواژ است.

می‌توان توازی کانی‌های میکایی را با چشم غیرمسلح هم دید که نشان‌دهنده پهن‌شدگی کانی‌های سنگ در سطح تورق است.

به دو کلیواژ اخیر، کلیواژ قبل از تبلور هم می‌گویند.

کلیواژ خطی: کلیواژی است که در نتیجه آن سنگ به‌صورت بخش‌های قطعات باریک ولی طویل ظاهر می‌شود (لینه آسیون). علت ایجاد آن نیز تقاطع و امتداد کلیواژ با یک سطح لایه‌بندی است یا ممکن است از توازی کانی‌های سوزنی به وجود آید.

شیستوزیه یا فابریک شیستی: شیستوزیته ساختی از سنگ است که خرد شدن و شکستن در آن به‌صورت ورقه‌ها و صفحات موازی به‌آسانی انجام می‌شود. این عمل در نتیجه عملکرد فشارهای جهت‌دار انجام می‌گیرد.

فولیاسیون: اصطلاح فولیاسیون را در بیشتر موارد معادل شیستوزیته به کار می‌برند هنگامی‌که از فولیاسیون استفاده می‌شود منظور نوعی شیستوزیته جریانی است که افزایش دما با تبلور مجدد کانیها همزمان باشد. که کانی‌های جهت یافته‌ای به وجود می‌آید که غالباً در امتداد سطوح بزرگ خود در جهت شیستوزیته قرار می‌گیرند.

فابریک نواری

سنگ در این فابریک به‌صورت نوارهای موازی ظاهر می‌شود و ترکیب کانی‌های هر نوار نسبت به نوار مجاور متفاوت است.

این عمل ممکن است در نتیجه تفریق دگرگونی، رشد بلورهای دانه‌ای، اختلاف در ترکیب لایه‌های سنگ مادر باشد.

انواع فابریک نواری

فابریک گنیسی: نوعی فابریک نواری است که از نوارهای متفاوت روشن و تیره‌رنگ تشکیل شده باشد. این سنگ‌ها دانه‌درشت‌اند و در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی به‌آسانی تشخیص داده می‌شوند.

فابریک‌های حاصل از خردشدگی در نتیجه عملکرد دگرگونی دینامیکی

هنگامی‌که سنگ تحت تغییر شکل ناشی از تنش قرار گیرد کانی‌های سازنده ممکن است به طریق شکننده که منجر به ایجاد شکستگی در سنگ می‌شود.

انواع این فابریک عبارت‌اند از:

فابریک میلونیتی: سنگ از اجتماع قطعات دانه‌ریزی تشکیل شده که خود درنتیجه‌ی خرد شدن مکانیکی سنگ‌ها بدون آنکه تبلور مجدد در کانی‌های اولیه‌ی آن صورت گیرد به وجود آمده است.

اگر دانه‌های سنگ نامساوی باشد در این صورت عموماً دو نوع دانه‌های درشت و ریز با هم دیده می‌شوند این حالت ممکن است یا در نتیجه تبلور مجدد سنگ‌هایی به وجود آید که از دو یا چند کانی متفاوت تشکیل شده یا درنتیجه‌ی خرد شدن مکانیکی ناقص سنگ‌هاست که در پیدایش قطعات دانه‌درشت در زمینه دانه‌ریز مؤثر بوده است در این حالت به آن بافت ساروجی می‌گویند.

فابریک چشمی این فابریک در گنایس و سنگهای دگرگونی فولیاسیون دار دیده می‌شود به‌صورت اشکال عدسی مانند (یا بیضی) است و در مقاطع شبیه چشم است.

چشم‌ها معمولاً نسبت به دانه‌بندی سنگ درشت‌تر است و به‌صورت موازی درون کانی‌های جهت یافته دانه‌ریز قرار دارند.

فابریک کاتاکلاستی: نوعی فابریک میلونیتی که در نتیجه خردشدگی طی دگرگونی دینامیکی به وجود می‌آید و در بیشتر موارد بدون جهت یافتگی برتر است. اگر در چنین سنگ‌هایی درشت‌بلورها (پورفیرها) ی خرد شده در متن دانه‌ریز قرار داشته باشند آن بلورها را پورفیروکلاست می‌نامند.

فابریک فلیزر: در سنگ‌هایی دیده می‌شود که تحت تأثیر دگرگونی دینامیکی قرار گرفته باشند به علت جریان یافتن سنگ توده‌های عدسی شکل یا لایه‌ی اولیه یا کانی‌های دانه‌ای نسبتاً سالم سنگ در خمیره‌ای از قطعات شدیداً خرد شده محاصره می‌شود. قطعات درشت را چشم‌های کلاستی و مجموعه را فابریک فلیزر می‌گویند.

تفاوت فابریک فلیزر با فابریک چشمی

در آن است که در فلیزر سیمان و قطعه بلورهای درشت از نوع کلاستی است. زیرا اگر ماده سیمان از جنس کلاست باشد چشم‌ها از نوع کلاستی خواهند بود.

ساخت بودین یا فابریک سوسیسی: این اصطلاح به فابریکی اطلاق می‌شود که ستون‌های موازی با مقاطع عدسی شکل در سنگ ظاهر می‌شود این فابریک وقتی بوجود می‌آید که سنگی مقاوم در داخل طبقات نامقاوم قرار گیرد و مجموعاً تحت نیروهای کششی واقع شود.

لینه آسیون

یک واژه توصیفی و برای هر نوع ساخت خطی در درون یا سطح سنگ بکار می‌رود و خود به اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. نوع اولیه آن بر اثر فرآیندهای آذرین و رسوبی و نوع ثانویه بر اثر دگرشکلی و دگرگونی حاصل می‌شود.

حالاتی که منجر به تشکیل لینه آسیون در سنگ می‌شود عبارت‌اند از:

- در نتیجه رشد کانی‌های طویل (مثلاً بلورهای منشوری یا سوزنی) در امتداد و به‌موازات هم
- از تقاطع در سطح دگرگونی به وجود آید این دو سطح ممکن است یکی سطح شیستوزیته و دیگری سطح لایه‌بندی باشد و یا از تقاطع شیستوزیته به وجود آید
- محل لوله‌های یک چین کوچک و بسیار ریز که موازی هم باشد و در نمونه‌های دستی قابل تشخیص باشد خطوطی تشکیل می‌دهند که می‌توان آن را لینه آسیون نامید

مشخصات یک دگرگونی مجاورتی

الف) سنگهای دگرگونی مجاورتی

یک دایک دلریتی به ضخامت تقریبی یک متر به سنگ دانه‌ریز و سخت تبدیل شده که علت آن اختلاف دمای ماگمایی دلریتی (در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به سنگ میزبان است.

هر چه ضخامت توده‌ی مذاب و دمای آن زیادتر باشد ضخامت حاشیه پخته شده بیشتر و سنگهای آن سخت‌تر می‌شود و در زیر ضربه چکش، شکستگی نامنظم و صدفی پیدا می‌کند. به این سنگهای متراکم توده مانند که در مجاورت توده‌های نفوذی پیدا می‌شوند هورنفلس می‌گویند.

- هورنفلسها در برابر عوامل فرسایش مقاومت زیادی دارند و هر چه به توده‌ی مذاب نزدیک‌تر شویم دانه درشت‌تر می‌شوند و مقاومت بیشتری پیدا می‌کنند. درجه دگرگون‌شدگی بیشتر می‌شود.

انواع هورنفلسها

برحسب نوع سنگ مادر عبارت‌اند از:

۱. هورنفلسهای پلیتی و سنگهای وابسته

هورنفلسها: اغلب هورنفلسهای پلیتی Al_2O_3 نسبتاً زیادی دارند. این امر موجب تبلور آندالوزیت یا کوردیریت (یا هر دو) در سنگ می‌شود که به‌صورت پورفیروبلاستهای که در زمینه دانه‌ریز گرانوبلاستی متشکل از کوارتز + فلدسپار + میکا + گرافیت دیده می‌شود.

در هورنفلسهای پلیتی، بیوتیت قرمز قهوه‌ای دیده می‌شود ولی موسکوویت تنها در رخساره هورنبلند ظاهر می‌شود.

شیستهای لکه‌دار پلیتی: کمی دورتر از هاله دگرگونی، اگر سنگ اولیه از نوع اسلیت یا فیلیت باشد. بر اثر دگرگونی مجاورتی، دانه‌هایی در سنگ ظاهر می‌شود که به آن لکه یا غده می‌گویند رنگ آن‌ها خاکستری تا تیره‌رنگ و اندازه آن‌ها در حد یک پورفیروبلاست‌ها و گاهی تا چند میلی‌متر می‌شود.

- شرط وجود پورفیروبلاستهای اولاً دما باید در حد رخساره‌ی آمفیبولیت باشد ثانیاً در ترکیب سنگ اولیه‌ی کائولینیت (که موجب تشکیل آندالوزیت می‌شود). یا کلریت (که موجب تبلور کوردیریت می‌گردد) وجود داشته باشد.

آژریلیت: سنگی است آفانتیک، بارنگ تیره، بدون جهت یافتگی و دارای شکستگی صدفی. درجه‌ی دگرگونی آن ضعیف و بر اثر تبلور، دوباره مادستون به وجود می‌آید.

۲) هورنفلسهای کوارتز و فلدسپاری

این کانیها در دمای پیروکسن هورنفلس و هورنبلند هورنفلس پایدارند هورنفلسهای حاصل از این قبیل سنگ‌ها اساساً بافت موزاییکی گرانوبلاستی دارد در هورنفلسهای کوارتز و فلدسپاری همیشه مقداری بیوتیت وجود دارد و در انواع رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس، کوردیریت هم دیده می‌شود.

کوارتزیتها: تنها از دگرگونی سنگهای رسوبی مانند ماسه سنگهای کوارتزی، گری واکهای کوارتزی، کنلگومراهای کوارتزی و چرت‌ها به وجود می‌آیند.

کوارتزیت سنگی است متراکم، سخت با بافت موزاییکی و در هنگام شکستن با لبه‌های تیز شکسته می‌شود کوارتزیتها هم در دگرگونی مجاورتی و هم در دگرگونی ناحیه‌ای بوجود می‌آیند.

- تفاوت یک کوارتزیت ناشی از دگرگونی ناحیه‌ای با کوارتزیتی که در مجاورتی به وجود می‌آید ایجاد فولیاسیون در کوارتزیتهای ناحیه‌ای است که بلورهای کوارتز حالت کشیده پیدا می‌کنند که خود به سختی قابل تشخیص است.

انواع کوارتزیتها:

کوارتزیتهای خالص: که حالت توده مانند دارد و ندرتاً حالت شیستی در آن بروز می‌کند. در این کوارتزیتها زیرکن هم دیده می‌شود.

کوارتزیتهای میکادار: این کانیها معرف دگرگونی درجات ضعیف‌اند.

کوارتزیتهای فلدسپاردار: از فلدسپار ماسه‌سنگ‌ها (مثلاً آرکوز) و در شرایط دگرگونی ضعیف کلریت ولی در درجات شدیدتر گرونای نوع آلماندین از آن متبلور شده است.

کوارتزیتهای آکتینوت‌دار: اگر سیمان ماسه‌سنگ‌ها آهکی باشد نوع کانیها تابع باز یا بسته بودن محیط برای خروج CO_2 است.

کوارتزیتهای ریبکیت‌دار: این قبیل کوارتزیتها در نتیجه دخالت محلول‌های متاسوماتوز سدیم‌دار و نفوذ و نشت آن به داخل ماسه سنگهای خالص به وجود آمده باشد.

کوارتزیتهای آهن‌دار: اگر در سیمان ماسه‌سنگ‌ها آهن وجود داشته باشد. مانیتیت و هماتیت متبلور خواهند شد.

گریزن: مجموعه‌ای گرانوبلاستی از کوارتز و موسکوویت است که در آن کمی توپاز، تورمالین، فلوئورین، روتیل، کاستریت و ولفرامیت از متاسوماتیسم سنگهای گرانیتی به وجود می‌آید.

۳) هورنفلسهای آهکی

دگرگونی مجاورتی درجات شدید موجب تبدیل آهک و دولومیت به مرمرهای آهکی می‌شود و عبارت از سنگ‌هایی است که اساساً از دانه‌های موزاییکی و متساوی‌البعد کلسیت تشکیل شده، بافت این سنگ‌ها گرانوبلاستی است.

مرمر یا سیپولن: سنگ آهک دگرگونی شده است که ممکن است خالص یا ناخالص باشد و درجه‌ی دگرگونی آن متغیر و دارای فولیاسیون یا فاقد آن باشد.

۴) هورنفلسهای کالک سیلیکات یا اسکارنها

سنگهای این گروه از هورنفلسهای که عمدتاً از دگرگونی آهک‌های رس‌دار و مارنها به وجود می‌آید به این سنگ‌ها کالکوسیلیکات نیز گفته شده که سنگی دانه‌ریز و بدون فولیاسیون است.

از اقسام مهم هورنفلسهای کالک

تاکتیت: سنگی با ترکیب پیچیده که از دگرگونی مجاورتی و متاسوماتیسم سنگهای کربناتی به وجود می‌آید. این سنگ بافت دانه‌درشت و موزاییکی دارد.

اسکارن: اصطلاح معدنچیان سوئدی است سنگهای متاسوماتیتی است که از آهک آهن سه ظرفیتی و سیلیکاتهای منیزیم ترکیب یافته اسکارنها در محل تماس توده‌های نفوذی پر حرارت با سنگهای آهکی مجاور به وجود می‌آیند به همین دلیل، به نهشته‌های اسکارن، دگرگونی مجاورتی و پیرومتاسوماتیک هم گفته می‌شود. به علت نحوه‌ی انتشار و نفوذ محلول‌ها، در محل تماس بین گرانیتوییدها و آهک، زون‌های متوالی با ترکیب متفاوت به وجود می‌آید این همان زونالیته متاسوماتیک است که از مشخصات بارز اسکارنها است.

- کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی اسکارنها مثلاً گروناها، پیروکسنها و فلوگوپیتها بسیار دانه درشت‌اند و این امر دخالت گازهای تحت فشار را به اثبات می‌رساند به همین دلیل به اسکارنها، هورنفلسهای پگماتیتی هم می‌گویند.

۵) هورنفلسهای بازیک

اگر سنگهای باریک (بازالت و انواع مشابه) در معرض دگرگونی شدید دمایی قرار گیرند به هورنفلس متراکم و تیره‌رنگی تبدیل می‌شوند که در زیر میکروسکوپ با بافت گرانوبلاستی موزاییکی خود مشخص‌اند.

هورنفلسهایی که از دگرگونی آندزیتها ایجاد می‌شوند عموماً دارای بیوتیت و گاه آثار بافت پورفیری اولیه‌اند.

در پریدوتیت هورنفلس، کانیها جهت یافتگی خاص ندارند.

ب) سنگهای دگرگونی دینامیکی

دگرگونی دینامیکی با دگرشکلی سنگ‌ها و تبلور مجدد ناشی از تنش مشخص می‌شود و معمولاً با کاهش اندازه‌ی کانی‌های سنگ همراه است.

رفتار کانیها در مقابل نیروهای دینامیکی به جنس آن‌ها و شرایط فیزیکی محیط بستگی دارد.

اقسام مهم سنگهای دینامیکی عبارت‌اند از:

۱) میلونیت:

از دگرشکلی کاتاکلاستی شدید سنگ‌ها تا حد خرد شدن به وجود می‌آیند در این حالت ترکیب شیمیایی سنگ اولیه تغییر نمی‌کند ولی تحت تأثیر نیروهای شدید تکتونیکی مانند حرکتی که در طول یک گسل در سنگهای دو طرف آن پدید می‌آید. سنگ خرد و به قطعات کوچک‌تر تقسیم می‌شود. بسیاری از میلونیتها بافت ورقه‌ای دارند که اندازه دانه‌ها، رنگ یا ترکیب کانی‌شناسی هر ورقه با ورقه مجاور متفاوت است.

میلونیتهای گرانیتی و ماسه‌سنگی:

کوارتز کانی اصلی آن‌هاست و جهت یافتگی خاصی از خود نشان می‌دهد. به‌نحوی‌که محورهای نوری آن‌ها با جهت حرکت و خردشدگی سنگ تقریباً موازی است.

گابرو میلونیتی: با توجه به کانی‌های آلبیت و کوارتز و کلینوزوئزیت و هورنبلند و کانی کدر و مقاوم گابروها. این قبیل سنگ‌ها هم ممکن است به حالت میلونیت درآیند.

پریدوتیتهای میلونیتی: این سنگ‌ها ضمن حرکت خرد می‌شوند و به این طریق پریدوتیت میلونیتی به وجود می‌آید که با ساخت ورقه‌ای یا خطی خود مشخص است.

گنیسهای چشمی: بعضی از گنیسهای چشمی منشأ میلونیتی دارند فلدسپارهای آن به شکل «چشم» اند.

پروتومیلونیت: میلونیتی است که پورفیروکلاستهای زیادی داشته باشد.

کاتاکلازیت

اصطلاح کاتاکلازیت در مورد سنگ‌هایی به کار می‌رود که اختصاصات دگرشکلی کاتاکلاستی در آن ظاهر شود ولی دانه‌ای شدن که مشخص میلونیتهاست در آن دیده نشود.

فلیرز گابرو یا فلیرز گرانیت: عبارت است از سنگهای دگرگونی‌ای است که در آن‌ها عدسی‌ها یا قطعاتی که از کانی‌های اصلی یا کانی‌های دست‌نخورده و سالم گابرو یا گرانیت در زمینه‌ای از مواد خرد شده و ساییده شده قرار گرفته و سنگ ظاهری جریان یافته داشته باشد. بعضی از کاتاکلازیت‌ها ممکن است از سنگهای رسوبی به وجود آیند.

۳. فیلونیت

سنگ‌هایی شبیه فیلیتهایند و از مشخصه‌های مهم در تکامل فیلونیتها حرکت ناهماهنگ دانه‌ها در سطح لغزش است که ظاهر شیبی به خود می‌گیرد و محصول نهایی این فرآیند ایجاد فیلونیت است که از نظر کانی‌شناسی و ساختمانی فیلیت ولی از نظر منشأ و ساخت با آن متفاوت است و جز رخساره شیست سبز می‌شود و جهت یافته با کلیواژ لغزشی است.

سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای

دگرگونی ناحیه‌ای همزمان با چین‌خوردگی آغاز می‌شود اما مدت زمان آن همیشه طولانی‌تر از چین‌خوردگی است.

در حالت دگرگونی باید دو نوع تعادل برقرار شود: تعادل تکتونیکی و تعادل کانی‌شناسی

سنگهای این گروه دارای شیستوزیته یا فولیاسیون است و نشان‌دهنده دگرشکلی مهمی است که در فرآیند دگرگونی بر آن‌ها وارد آمده است.

کانی‌شناسی

برای بحث کانی‌شناسی بهتر است کلیه سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای را به دو گروه بزرگ تقسیم کنیم:

- انواع درجات ضعیف که حد پایداری آن‌ها در رخساره‌ی شیست سبز و رخساره آمفیبولیت درجات ضعیف است.
- انواع درجات شدید که با رخساره‌های آمفیبولیت، گرانولیت و اکلوژیت تطبیق می‌کنند.

در انواع درجات ضعیف کانی‌هایی از انواع سیلیکاتهای آبدار دیده می‌شود و انواع بی‌آب و دما بالا مانند الیوین، پیروکسن و پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار در آن‌ها وجود ندارد.

اقسام سنگهای دگرگونی ناحیه‌ای

۱. اسلیتها سنگهای دانه‌ریزند و خود از دگرگونی رسوبات دانه ریزتر به وجود می‌آیند که عادی‌ترین آن‌ها رسوبات پلیتی است.

کانی‌های اساسی این سنگ‌ها، میکای سفید، کلریت، کوارتز و در بعضی حالات در آن لکه‌های تیره‌رنگ گرافیت هم دیده می‌شود. کانی‌های فرعی نیز، تورمالین، روتیل، اپیدوت، اسفن و اکسیدهای آهن است.

از اختصاصات مهم اسلیتها تورق آسان آن است که به آن کلیواژ اسلیتی هم می‌گویند و عبارت است از قرار گرفتن کانی‌های بسیار دانه‌ریز ورقه‌ای به‌موازات و در امتداد سطوح شیستوزیته است.

تشخیص لایه‌بندی سنگ اولیه در اسلیت حائز اهمیت است که به کمک تغییر رنگ و بافت و گاهی خوابیدگی فسیل در سطح لایه‌ها می‌توان این شکل را حل کرد.

۲. فیلیتها

با افزایش درجه‌ی دگرگونی اسلیتها به فیلیت تبدیل می‌شوند و از نظر کانی‌شناسی، فیلیتها مشابه اسلیت‌اند ولی از آن دانه درشت‌ترند حضور کانی‌های دانه‌درشت در فیلیتها موجب می‌شود تا فیلیتها را از نظر درجه‌ی دگرگونی بین اسلیت و میکاشیست در نظر بگیریم.

فیلیتها معرف رخساره شیست سبزند و گروناهای موجود در فیلیت از نوع منگنز دارند.

اقسام فیلیتها

فیلیتهای گرافیتی: از دگرگونی شیلهای زغال‌دار به وجود می‌آید. جلای چرب دارند و دست را سیاه می‌کنند.

فیلیتهای گرونادار: دانه‌های کوچک گرونا در حدود میلی‌متر و به رنگ قرمز تیره تا سیاه‌رنگ دیده می‌شود که غنی از منگنز است.

فیلیت کلریتوییدار: در سنگ‌هایی که مقدار آهن و منیزیم زیاد و پتاسیم کم باشد پورفیبروبلاستهایی از کلریتویید به وجود می‌آید.

شیستها

درجه دگرگونی شدیدتر از فیلیت دارند. شیستها فراوانترین سنگهای دگرگونی به‌حساب می‌آیند. وجود شیستوزیته یا لینه آسیون از مشخصات اساسی آن‌هاست. در شیستهای درجه ضعیف، کانی‌های ورقه‌ای فراوان‌تر است ولی با افزایش دما نسبت کانی‌های میکایی آن به علت تبدیل کانی‌های دیگر کم می‌شود و در نتیجه شیستوزیته آن ضعیف‌تر می‌گردد که به فابریک گنیسی نزدیک می‌شود.

برحسب نوع سنگ مادری که شیستها از آن به وجود می‌آید به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱. شیستهایی که از دگرگونی رسوبات رسی یا کوارتز- فلدسپاری به وجود می‌آیند مانند اقسام میکاشیستها
۲. شیستهایی که منشأ کربناتی دارند یا کالک شیستها
۳. شیستهایی که از دگرگونی سنگهای آذرین حد واسط تا بازیک نتیجه می‌شوند مثلاً شیستهای سبز
۴. شیستهایی که از دگرگونی سنگهای الترا بازیک به وجود می‌آیند مانند شیستهای منیزیم‌دار

۱. شیستهایی که از دگرگونی رسی به وجود می‌آیند:

در این شیستها میکا بسیار فراوان است که عموماً در امتداد سطح فولیاسیون قرار می‌گیرند. فراوانی میکای سنگ‌ها را می‌توان هم به ترکیب شیمیایی محیط و هم به شرایط تشکیل و پایداری میکاها مربوط دانست.

- گرونای نوع آلماندین کانی دگرگونی درجه متوسط سنگهای رسی است. با افزایش شدت دگرگونی مقدار منیزیم گرونا زیادتر و به پیروپ تبدیل می‌شود.

کیانیت یا دیستن، معرف درجه دگرگونی شدید است و معمولاً از مسکوویت به وجود می‌آید.

فلدسپارپتاسیم + کیانیت ← مسکوویت

۲. شیستهایی که از دگرگونی کوارتز و فلدسپار به وجود می‌آیند:

این قبیل شیستها اساساً از دگرگونی رسوبات مارنی و سنگهای آذرین سیلیس‌دار به وجود می‌آیند. در درجات دگرگونی ضعیف تا متوسط کانی‌های تشکیل‌دهنده آن همان انواعی‌اند که در شیستهای ناشی از رسوبات رسی دیده می‌شوند ولی در این قبیل شیستها، کوارتز و آلبیت فراوان‌تر و درصد اپیدوت نیز زیادتر است.

در درجات شدید کانیها دانه درشت‌تر و مقدار کانی‌های ورقه‌ای آن کمتر می‌شود و در نتیجه قابلیت تورق آن کمتر و به‌عبارت‌دیگر شیستوزیته آن نامنظم‌تر می‌شود.

۳. کالک شیستها یا شیستهایی که منشأ کربناتی دارند:

از دگرگونی شیستهای غنی از کلسیم، سنگهای آهکی دولومیتی رس‌دار به وجود می‌آیند. از دگرگونی ناحیه‌ای این قبیل سنگ‌ها، کالک شیست و مرمر ایجاد می‌شود.

نوع کانی‌های رسی، تعیین‌کننده نوع کانی‌های میکایی و معرف درجه دگرگونی سنگ است.

در درجات دگرگونی ضعیف و متوسط، دولومیت نیز مانند کلسیت به‌صورت مرمر درمی‌آید.

در بعضی از سنگهای این گروه ممکن است کانی‌های دانه‌ریز آهک بر اثر سایش و خردشدگی از کانی‌های دانه درشت‌تر به وجود آیند.

۴. شیستهای سبز:

این سنگ‌ها از دگرگونی ناحیه‌ای سنگهای بازیک و نیمه بازیک در دماهای کم به وجود می‌آیند.

مجموعه کانی‌هایی که در شیستهایی سبز یافت می‌شود عبارت‌اند از:

مجموعه کلریت + اپیدوت + آکتینوت + آلبیت

در درجات دگرگونی ضعیف، مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز (صفر تا ۷ درصد) ممکن است به‌صورت دانه‌های کوچک موزاییکی و یا به‌صورت پورفیبروبلاستهای خود شکل باشد.

پرازینیت نوعی شیست سبز است که در آن سه کانی تشکیل‌دهنده‌ی آکتینوت یا هورنبلند سبز، کلریت و اپیدوت با نسبت تقریباً مساوی وجود داشته باشد. این سنگ تقریباً بدون کوارتز است ولی کمی آلبیت در آن وجود دارد.

۵. شیستهای منیزیم‌دار:

پریدوتیتها و سایر سنگهای الترابازیک در دماهای کم و متوسط ممکن است در محیط آبدار یا خشک دگرگون شوند. دگرگونی این قبیل سنگ‌ها علاوه بر دما و فشار به مقدار بخار آب، SiO_2 و گاز CO_2 و دیگر مواد محلول بستگی دارد. آمفیبول در آمفیبول شیست منیزیم‌دار از نوع آکتینوت سبز کم رنگ یا ترمولیت بی‌رنگ است.

۶. شیستهای گلوکوفان‌دار:

از دگرگونی سنگهای متنوعی مانند دیاباز، بازالت، ماسه‌سنگ و چرت‌های آهن‌دار به وجود می‌آیند.

چون شیستهای گلوکوفان‌دار بیشتر با توده‌های سنگهای سرپانتینی همراه‌اند، آن‌ها را به سنگهای سرپانتینی تبدیل می‌کنند.

شیستهای آبی از دگرگونی‌گری وکها، بازالتهای زیر دریایی و سنگهای سری افیولیتی که همگی با گودال‌های اقیانوسی در ارتباط‌اند بوجود می‌آیند.

۴) آمفیبولیتها:

سنگهای دگرگونی فولیاسیون داری‌اند که اساساً از هورنبلند و پلاژیوکلاز تشکیل شده و در دگرگونی‌های ناحیه‌ای درجه متوسط تا شدید به وجود می‌آیند. تفکیک و تناوب لایه‌ها در آمفیبولیتها ممکن است در مقیاس نمونه‌های دستی واضح نباشد. زیر میکروسکوپ اصولاً جهت یافتگی برتری در آن دیده می‌شود.

آمفیبولیت ممکن است از دگرگونی سنگ‌هایی با ترکیب مختلف به‌خصوص انواع سنگهای بازیک تا حد واسط، آهک‌ها و دولومیتهای ناخالص، مارنها و حتی از آهک‌های خالصی که تحت تأثیر متاسوماتیسم سیلیسی منیزیم و آهن قرار گرفته باشد به وجود آید.

با افزایش درجه دگرگونی، آلبیت با اپیدوت ترکیب می‌شود و پلاژیوکلازی بازیک به وجود می‌آید.

بسیاری از گرینستونها و آمفیبولیتها از دگرگونی سنگهای سازنده کف اقیانوس در زیر آب دریا (دگرسانی) به وجود می‌آیند.

آمفیبولیتهایی که از دگرگونی سنگهای آذرین بازیک به وجود آیند نسبت پلاژیوکلاز بـه هورنبلنـد بیشـتری دارند.

آمفیبولیتهایی که از دگرگونی شکل‌های الترا بازیک به وجود آیند اصولاً پلاژیوکلاز ندارند و از نوع منیزیم دار مانند آنتوفیلیت و کامینگتونیت‌اند.

اصطلاح اپی دیوریت به آمفیبولیتهایی اطلاق می‌شود که از دگرگونی گابرو یا دیاباز وجود آید به‌شـرط آنکـه ساخت درونی آن چندان تغییر نیافته و فولیاسیون آن ضعیف باشد.

آمفیبولیت شیست: عبارت از سنگ دگرگونی هورنبلند- پلاژیوکلازداری است که فولیاسیون ظریف شیسـتها در آن دیده شود.

هورنبلندیت: در گذشته نام سنگی از گروه آمفیبولیت محسوب می‌شود آمفیبـول آن از نـوع هورنبلنـد بـوده است.

۵) گنایسها:

سنگهای دگرگونی فلدسپارداری‌اند که با داشتن فولیاسیون مشخص‌اند. کانی‌های سازنده آن‌ها ممکـن اسـت میلی‌متری تا سانتی‌متری باشد.

گنیس از سنگهای ماگمایی مانند گرانیت، ریولیت، سینیت، تراکیت، سـینیتهای نفلینیـت یـا رسـوبی ماننـد ماسه سنگهای فلدسپاری، گری وک و حتی گنیس به وجود آید. در هر یـک از رخسـاره‌هـایی کـه فلدسـپار در آن حالت پایدار باشد گنیس تشکیل می‌شود.

انواع گنیسها

همگن (هموژن) پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت تقریباً یکنواخت دارد.

ناهمگن (هتروژن) پراکندگی دانه‌ها در سنگ حالت تقریباً یکنواخت ندارد.

اقسام گنیسهای ناهمگن: گنیسهای چشمی و گنیسهای نواری

گنیس چشمی فلدسپار یا کوارتز و فلدسپار به‌صورت چشم‌ها یا عدسی‌های درشت‌تـر در مـتن سـنگ دیـده می‌شود.

گنیس نواری: لایه‌های کوارتز- فلدسپار یا فقط فلدسـپار بـا لایـه‌هـایی سرشـار از میکـا، کلریـت، آمفیبـول، پیروکسن و ... به‌طور متناوب قرار می‌گیرند.

- کوارتز و فلدسپار را باید فراوانترین کانی‌های گنیس به شمار آورد که معمولاً به‌صورت دانه‌درشـت دیـده می‌شود.

اقسام گنیسها که هم به ترکیب سنگ والد و هم به شرایط دگرگونی بستگی دارد و شامل:

گنیس کرندون‌دار: از دگرگونی سنگهای بوکیتی یا لاتریتی به وجود مـی‌آیـد و در آن کرنـدون- مانیتیـت و سیلیمانیت نیز دیده می‌شود.

گنیس دیستن‌دار: معرف فشار زیادتر و دمای کمتر نسبت به گنیسهای سیلیمانیت‌دار است.

گنیس کردیریت‌دار: معرف درجه‌ی شدید دگرگونی سنگهای رسی غنی از کلریت و مونت موریونیت است.

گنیس گرونادار: در بسیاری از گنیسها گرونا یافت می‌شود که غالباً از نوع آلماندین پیروب‌اند.

گنیس گرانیتی: که در بعضی حالات از تبدیل شیستهای گرانیتی به وجود می‌آید و چون محیط احیا کننده را مشخص می‌کند می‌توان پیریت یا پیروتین را در آن دید.

گنیس کلسیک: عبارت از سنگهای کلسیک فولیاسیون داری است که در آن گروسولار و پلاژیوکلاز کلسیم‌دار یافت می‌شود.

گنیس پیروکسن‌دار: از دگرگونی سنگهای آذرین باریک در رخساره‌ی گرانولیت به وجود می‌آید و حاوی کانی‌های بی‌آب ولی دارای فولیاسیون و بافت گرانوبلاستی است به آن گرانولیت بازیک هم می‌گویند.

گنیس تزریقی: معروف‌ترین تزریق و نفوذ مواد مذاب به داخل سنگ است که در حاشیه بعضی از باتولیتها دیده می‌شود.

گنیس دومیکادار: این سنگ از تغییر و تحول میکاشیستهای بیوتیت و موسکوویت‌دار به وجود می‌آید. با افزایش درجات دگرگونی، کانیها رشد و فولیاسیون گنیسها پدیدار می‌شود. فلدسپار درشت‌تر و بخشی از مسکوویت نیز به فلدسپار پتاسیم‌دار تبدیل می‌شود.

گنیس بیوتیت و سیلیمانیت‌دار: درجه دگرگونی زیادتر از گنیس دومیکادار و در آن بجای مسکوویت، سیلیمانیت به‌صورت رشته‌های دسته علفی فراوان‌تر می‌شود.

۶. گرانولیتها:

درجه دگرگونی شدید دارند و کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها هم‌اندازه و بدون فولیاسیون و از دگرگونی سنگهای پلیتی به وجود می‌آیند.

گرانولیت برای بعضی از سنگ‌شناسان عبارت از گنیسی است که دارای کانی‌های مافیک و تمام کانی‌های آن بی‌آب باشد این سنگ را گرانولیت بازیک می‌نامید.

دو نوع گرانولیت را از هم متمایز کرد و به‌جای کلمه گرانولیت از این دو استفاده کرد:

الف) انواعی که از نظر ترکیب معادل سنگهای آذرین بازیک‌اند و با کانی‌های بی‌آب و ساخت گنیسی مشخص می‌شود به این گروه گنیسهای پیروکسن‌دار می‌گویند.

ب) انواعی که ترکیب شیمیایی آن‌ها معادل سنگهای آذرین اسید ولی دارای کانی‌های بی‌آب است. به این قبیل سنگ‌ها گنیس شارنوکیتی می‌گویند.

گرانولیتهای پیروکسن‌دار

سنگهای دگرگونی درجه شدید (رخساره‌ی گرانولیت) است که از پلاژیوکلاز، هیپرستن، دیوپسید، در بعضی حالات گرونای آلماندین ساخته شده است.

فلدسپارهای رخساره‌های گرانولیتی رنگ تیره و در پلاژیوکلازها، متغیرهای فلدسپار پتاسیم (آنتی پرتیت) به‌صورت اکسولوسیون وجود دارد که نشانه دمای تبلور بالاست.

۷. شارنوکیتها:

مقدار کوارتز این سنگ از ۲۰ درصد کانی‌های روشن و نسبت فلدسپار پتاسیم آن به‌کل فلدسپار را ۴۰ تا ۹۰ درصد است؛ بنابراین شارنوکیت در شرایط دما و فشار زیاد متبلور می‌شود.

سنگ‌هایی که ترکیب گرانیت و بافت گرانوبلاستی داشته و کانی‌های آهن و منیزیم آن از نوع بی‌آب باشد جز سری شارنوکیتی قرار می‌گیرند. یکی از مشخصات شارنوکیت، داشتن کوارتز با رنگ تیره است این امر به دلیل وجود رشته‌های مو مانند روتیل در داخل بلور کوارتز است.

۸. اکلوژیتها

سنگ‌هایی که به‌صورت قطعات بیگانه (زینولیت) در کمیبرلیت/ یا در بعضی بازالتها دیده می‌شود.

از نظر کانی‌شناسی از دو کانی گرونای قرمز تیره (آلماندین- پیروپ) و پیروکسن امفاسیت سبز تیره تشکیل شده‌اند.

این پیروکسن یکی از انواع سری دیوپسید- ژادئیت است.

دیستن سومین کانی تشکیل دهنده‌ی مهم در بعضی از اکلوژیتهاست.

اکلوژیت سنگی دانه درشت است بافت گرانوبلاستی دارد که گرونا با حالت پورفیروبلاستی در آن مشخص است.

اکلوژیت به دو طریق به دست می‌آید:

الف) در حالت جامد، از تغییر و تبدیل بازالت در فشار زیاد و دمای متوسط (اکلوژیت سنگ دگرگونی) است.

ب) از تبلور مایع مذاب بازالتی در فشار زیاد و دمای کم (اکلوژیت سنگ آذرین) است.

یکی از اختصاصات مهم کانی‌شناسی اکلوژیتها وجود پیروکسن امفاسیت است. این پیروکسن نوعی اوژیت سرشار از سدیم است.

اکلوژیت‌ها ممکن است همانند هر سنگ دیگر تحت تأثیر دگرگونی قهقرایی قرار گیرند مثلاً اگر مجموعه‌ی کانی‌های آن در شرایط دما و فشار کمتر ولی در معرض فشار آب قرار گیرد در این حالت حاشیه هم رشدی از هورنبلند و پلاژیوکلاز که به آن حاشیه کلینیت می‌گویند.

د) سنگهای دگرگونی اصابتی یا ضربه‌ای

حامل امواج ضربه‌ای و تغییرات ناشی از آن‌ها در سنگ‌ها نتیجه برخورد بسیار سریع شهاب‌سنگ است. مدت این واقعه بسیار کوتاه است.

آثار دگرگونی اصابتی در سطح زمین عبارت‌اند از:

۱. مخروط‌های خردشدگی: در این حالت سنگ‌ها به‌صورت صفحات مخروطی می‌شکنند و در آن‌ها شیارهایی پدیدار می‌شود. این اشکال در فشارهای بین ۵ تا ۱۰ کیلوبار توسعه پیدا می‌کند.
۲. در بلورهای کوارتز و فلدسپار، شکاف‌ها و ترکهای بسیار ریز به فواصل چند میکرون به وجود می‌آید این عمل در فشار بین ۷/۵ تا ۲۵ کیلوبار وقوع می‌یابد.
۳. در سنگهای کربن‌دار الماس به وجود می‌آید. با توجه به شرایط تبلور الماس این عمل در بالاتر از ۲۰ کیلوبار انجام شدنی است.

۴. در سنگهای سیلیسی و ماسه سنگ‌ها به‌جای کوارتز، شکل فشار زیاد آن یعنی کوئزیت و استیشوویت ظاهر می‌شوند. کانی اخیر در بیش از ۱۶ کیلوبار به وجود می‌آید. فلدسپار در فشار حدود ۳۰ کیلوبار و کوارتز در فشار حدود ۴۰ کیلوبار متلاشی می‌شود.
۵. سوئویت سنگی است که در نتیجه برخورد و دگرگونی ضربه‌ای بخشی از سنگ ذوب می‌شود و سیمانی تشکیل می‌دهد که بخش ذوب نشده را به هم متصل می‌کند.
۶. اگر سنگ به‌طور کامل ذوب شده باشد شیشه‌هایی به وجود می‌آید که برای تمیز از سایر انواع شیشه‌های طبیعی، بهتر است آن را شیشه اصابتی نامید. در فشار بیش از ۶۰ کیلوبار به وجود می‌آید.
۷. در شرایطی که شدت ضربه‌ای بسیار زیاد باشد سنگ محل اصابت حتی به بخار تبدیل می‌شود.

هـ) سنگهای دگرگونی زیر کف اقیانوس‌ها

با افزایش درجات زمین‌گرمایی سریع و تقریباً ۵ تا ۸ برابر مناطق دیگر سطح زمین است. با ورود آب دریا به داخل شکستگی‌های کف اقیانوس و گرم شدن تدریجی آن‌که با انحلال گازهای آتش‌فشانی همراه است آب گرم می‌شود و خاصیت اسیدی پیدا می‌کند.

۱. سنگهای دگرگونی درجه‌ی خیلی ضعیف

این سنگ‌ها در بخشی سطحی قرار دارند و نمونه‌برداری از بازالتهایی که ساخت پیلولاوایی داشته‌اند انجام شده است. اسمکتیت نوعی کانی رسی از خانواده مونت موریونیت است که آن را فقط به کمک پرتوایکس می‌توان تشخیص داد. در این سنگ‌ها حفرات بادامی شکل به‌وسیله کلسیت، دوپال یا زئولیت پر می‌شود. وجود اسمکتیت به جای خمیره‌ی شیشه‌ای در بازالت مشخص‌کننده‌ی ضعیف‌ترین درجه دگرگونی است.

۲. سنگهای دگرگونی درجه ضعیف

در اعماق کمی پایین‌تر از محلی که بازالتهای پیلولاوایی در کف اقیانوس دیده می‌شوند یعنی در افق‌هایی که دایکهای صفحه‌ای وجود دارند به علت افزایش دما درجه‌ی دگرگونی بیشتر از حالت قبل است.

مجموع کانیها عبارت‌اند از:

پلاژیوکلاز - آکتینوت + کلریت + کوارتز + کانی‌های کدر

۳. سنگهای دگرگونی درجه‌ی متوسط

با افزایش عمق دما افزایش می‌یابد. در نتیجه هورنبلند جای آکتینوت را می‌گیرد کلریت محو می‌شود و کلینوپیروکسنی با ترکیب نزدیک به دیوپسید به این مجموعه اضافه می‌شود در این صورت مجموعه‌ی کانیها عبارت‌اند از:

پلاژیوکلاز + کوارتز + هورنبلند + دیوپسید + کانی‌های کدر

این مجموعه در تحتانی‌ترین بخش دایکهای صفحه‌ای ظاهر می‌شود.

۴. اسپیلیت

در رسوبات کمربندهای کوه‌زایی فراوان‌ترند و غالباً به‌صورت بازالتهایی دیده می‌شوند که مختص فوران‌های زیر دریایی است. از نظر شیمیایی شبیه بازالتها و انواع تفریق یافته‌ی آن‌هایند ولی اصولاً سدیم بیشتر و کلسیم کمتری دارند.

۵. سرپانتینیتها

سنگهای مجموعه‌ی افیولیتی با درجات مختلف بر اثر پدیده سرپانتینی شدن به سرپانتینیت تبدیل می‌شوند.

در سرپانتینیتها دو نوع فابریک وجود دارد:

- ماسیف که عمدتاً در شرایط فشار همه جانبه به وجود می‌آیند سطح شکست تازه‌ی آن به رنگ سبز زیتونی تا سیاه ولی سطح هوازده‌ی آن زرد نارنجی تا قرمز قهوه‌ای است این همان سرپانتینیتهای نوع آلپی است.
- برشی (لغزشی) گروهی از سطوح لغزشی و صاف را به آسانی می‌توان تشخیص داد. رنگ آن‌ها از سیاه تا سبز و گاهی زرد کم رنگ متغیر است. معمولاً فابریک قدیمی بر اثر فشارهای جهت‌دار محو می‌شود و سنگ از نظر مکانیکی مقاومت چندانی ندارد.

کانی سرپانتین خود از سه کانی به نامهای آنتیگوریت، لیزاردیت و کریزوتیل ساخته شده است.

- شیستهای سرپانتینی عبارت‌اند از سنگهای الترابازیک که در آن به علت فشارهای جهت‌دار، سنگ دارای شیستوزیته شده است.
- رودنگیت یا رودنژیت نوعی متاسوماتیسم کلسیک است که ممکن است تحت تأثیر سیالات سرشار از کلسیم بر سنگهای گابرویی یا دیابازیک به وجود می‌آید.

۶. تکتونیت الترابازیک

در مجموعه‌های افیولیتی و زیر افق‌های تحتانی این مجموعه، سنگهای دگرگونی جهت یافته‌ای دیده می‌شود که تکتونیتهای الترابازیک نامیده می‌شود. این سنگ‌ها در تحتانی‌ترین افق یک مجموعه افیولیتی و زیر کومولاهای الترا مافیک دیده می‌شود.

و) دگرگونی هیدروترمال و سنگهای ناشی از آن

به کلیه تغییرات شیمیایی کانی‌شناسی که تحت تأثیر آبهای ماگمایی یا هیدروترمال در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرگونی یا دگرسانی هیدروترمال می‌گویند.

و نتیجه آن ایجاد لایه دگرسان شده در سنگ میزبان است که ضخامت آن از چند میلی‌متر تا چند متر متفاوت است در دگرگونی هیدروترمال فاز سیال نقش مهمی دارد. این دگرگونی در مقیاس وسیع در زیر کف اقیانوس‌ها رخ می‌دهد.

نوع کانی‌هایی که در لایه دگرسان شده است بستگی به عوامل زیر دارد:

- ترکیب کانی‌شناسی سنگ میزبان
- ترکیب سیالاتی که در دسترس سنگ قرار می‌گیرند.
- دما و فشار محیط
- شدت و گسترش دگرگونی که خود به دو عامل خارجی و داخلی بستگی دارد که شامل:

(عامل خارجی)

- تراوایی سنگ میزبان
- ساختمان اولیه‌ی سنگ میزبان
- عمقی که سنگ میزبان دچار دگرسانی می‌شود.

(عامل داخلی)

- حجم محلول‌های هیدروترمال که خود تابع حجم توده‌های نفوذی است.
- دما و فشار محلول‌های فوق که تابع عمق استقرار توده‌ی نفوذی و نوع آن است.
- قدرت انتشار که خود به نوع عناصر محلول در فاز سیال وابسته است.
- شرایط EH و PH محلول‌ها.

سنگهای دگرگونی هیدروترمال

۱. آلبیتیت: سنگ‌هایی از دسته‌ی متاسوماتیت است که بر اثر عملکرد محلول‌های پس ماگمایی سدیم‌دار ناشی از گرانیتوییدها در ساختمان و ترکیب سنگ تغییراتی بروز می‌کند.
۲. آدینول: با ورود محلول‌های هیدروترمال سرشار از سدیم در رسوبات رسی، سنگی سرشار از آلبیت به وجود می‌آید که عمدتاً در حاشیه‌ی توده‌های نفوذی بازیک ظاهر می‌شود.
۳. اپیدوتیت یا اپیدوزیت: سنگی است سبزرنگ و اساساً از اپیدوت تشکیل یافته و ممکن است در آن کمی کلریت و بلورهای کوارتز هم دیده شود بافت این سنگ عمدتاً انیتی و از دگرگونی بازالتها یا گابروها به وجود می‌آید این پدیده را اپیدوتی شدن نیز می‌نامند.
۴. پروپیلیتی شدن: این پدیده در حد رخساره‌ی سبز اتفاق می‌افتد و عمدتاً سنگهای آتش‌فشانی به‌ویژه آندزیتها که در معرض محلول‌های هیدروترمال قرار داشته باشند.
۵. سرسیتی شدن: این دگرسانی با خروج عناصر سدیم، کلسیم و منیزیم سیلیکات‌ها مشخص می‌گردد و بر اثر آن آلومینوسیلیکاتها به‌ویژه پلاژیوکلازها از بین می‌روند و به جای آن‌ها میکاهای دانه‌ریز و گاه فیبری (سرسیت) جایگزین می‌شود. این پدیده در دمای حدود ۳۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.
۶. آرژیلی شدن: این پدیده در محیط‌های اسیدی رخ می‌دهد و به‌موجب آن عناصر الکالن سیلیکات‌ها مثلاً سدیم، پتاسیم و کلسیم فلدسپارها از محیط خارج می‌شوند و بجای آن‌ها کانی‌های رسی به وجود می‌آید.
۷. دگرسانی پتاسیک: اصولاً در مجاورت توده‌های نفوذی و با دخالت محلول‌های پتاسیم‌دار، بعضی از کانی‌های سنگ به ارتوز تبدیل می‌شوند.

ز) سنگهای دگرگونی درجات بسیار شدید

۱. میگماتیتها در مناطقی که با دگرگونی شدید سروکار داشته سنگهای مختلط نیمه ذوب شده‌ای پیدا می‌کنیم که به آن میگماتیت می‌گویند به معنی اختلاط است و عبارت از سنگی مرکب و ناهمگن است که قسمتی از آن رنگ روشن و ظاهر گرانیتی دارد و قسمت دیگر از نوع گنیسی و کانی‌های تیره تشکیل شده است.

به بخش روشن سنگ و گرانیتی منقول، مجموعه روشن یا لوکوسم می‌گویند.

بخش گنیسی را که از ذوب مصون مانده و از ترکیبات دیرگداز ساخته شده رستیت (باقیمانده) یا مجموعه ملانوسم می‌نامند.

اشکال متفاوت میگماتیتها

۱. میگماتیت نوع آگماتیک یا میگماتیتهایی که ساخت برشی دارند.
۲. میگماتیت نوع فلبتی یا میگماتیتهایی که حالت رگه‌ای دارند.
۳. میگماتیت نوع نبولیتی که حالت شبح و ابر مانند دارد.
۴. میگماتیت نوع شلیرن که در آن کانی‌های دیرگداز چین‌های متعدد به خود می‌گیرد.
۵. میگماتیت نوع افتالمیتی که پر از اشکال بادامی یا چشمی است.

نوع دیگری از سنگهای دگرگونی با درجات شدید

۲) آناتکسی و گرانیت‌های آناتکسی

کلمه آناتکسی معرف دگرگونی ناحیه‌ای شدید است که با ذوب کامل یا بخشی از سنگ همراه باشد (آناتکسی یعنی ذوب) ماده حاصل از ذوب در فرآیندهای سنگ‌زایی مجدد یعنی تولید ماگمای پالین ژنتیک یا گرانیت‌هایی که از ذوب رسوبات به وجود می‌آیند دخالت می‌کند.

۳) آناتکسیت

کلیه سنگ‌هایی که بر اثر آناتکسی (ذوب) به وجود آید آناتکسیت نامیده می‌شوند و چون سنگهای گرانیتی، کمترین نقطه ذوب را دارد آناتکسیتها عمدتاً ترکیب گرانیتی دارند.

تشخیص آناتکسیتها هنگامی امکان‌پذیر است که بخش گرانیتی (روشن) و بخش گنیسی (تیره) در کنار هم قرار داشته باشند.

گرانیت‌های آتکسی: کلیه گرانیتهایی که منشأ آناتکسی داشته باشند به این نام موسوم‌اند.

۴. امپرشیت یا امپرکیت

امپرشیت را می‌توان نوعی میگماتیت با ساخت چشمی دانست.

در این حالت نوعی گنیس چشمی با چشم‌های درشت فلدسپار است که حدفاصل بین چشم‌ها را کانی‌های ورقه‌ای بسیار نازک (گاهی از نوع سوزنی) از هم جدا می‌کند.

فهرست منابع سنگ‌شناسی دگرگونی

۱- سنگ‌شناسی دگرگونی، دکتر علی درویش زاده، دانشگاه پیام نور
۲- نام‌گذاری و طبقه‌بندی جامع سنگهای رسوبی، آذرین و دگرگونی، دکتر آدابی و دکتر کریم پور، دانشگاه فردوسی مشهد و دانشگاه شهید بهشتی
۳- سنگ‌شناسی (جلد ۱ و ۲)، دکتر سرابی، دکتر ایران پناه، دکتر زرعیان، دانشگاه تهران
۴- پترولوژی سنگهای دگرگونی (میاشیرو)، ترجمه دکتر ولی زاده، دکتر صادقیان